

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny i fabricació d'un prototip de taula de *powdersurf*

MEMÒRIA

Autor: Àlex Molina Mora
Director: Emilio Angulo Navarro
Convocatòria: Gener 2019



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

La finalitat d'aquest projecte és el disseny i la fabricació d'un prototip de taula de *powdersurf*, analitzant prèviament el mercat existent i les diferents tecnologies de fabricació, així com els materials més emprats per a dita tasca.

Per a l'obtenció d'unes conclusions vàlides es realitzaran diferents assajos. Amb l'ajuda del *software* adient (ANSYS), es durà a terme un estudi pel mètode dels elements finits (FEM) del model del prototip, prèviament dissenyat mitjançant CAD. Un cop fabricat el model, es realitzarà un assaig real a flexió que permeti comparar els resultats obtinguts analíticament.

Anteriorment a l'assaig del prototip es realitzaran altres assajos a flexió: un assaig destructiu d'una taula de *skateboard* i un assaig no destructiu d'una taula de *snowboard*, amb la finalitat d'obtenir informació sobre productes semblants, tant en el seu propòsit com en la seva confecció, amb els que poder comparar a posteriori.

A part del principal objectiu del projecte, es pretén definir un procés de fabricació artesanal, sense coneixement previ sobre tècniques de fabricació, que permeti obtenir un producte amb les prestacions desitjades, a la altura dels productes comercialitzats avui en dia.

Abstract

The purpose of this project is to design and produce a *powdersurf* board prototype, previously analyzing the existing market and the different manufacturing technologies, as well as the most common materials for these products.

In order to provide valid conclusions there are different tests to be done. Using a CAD file of the prototype, a finite element method (FEM) analysis with proper software (ANSYS) is going to be one of them. Once the prototype is built, its deflection is going to be tested in the laboratory to obtain some results which can be compared with the ones from the FEM analysis.

Previously to the prototype test there are going to be some others: a destructive test of a *skateboard* and a non-destructive test of a *snowboard*, with the goal of gaining some extra information about similar products, according to their purpose and manufacturing.

Besides to the main objective of the project, the intention is to define a manufacturing process, without any previous artisanal manufacturing knowledge needed, which should allow to obtain a final product with the desired specifications, being capable to perform as well as the ones which are already commercialized nowadays.

Índex

Resum	3
1. Introducció	7
1.1. Objecte	7
1.2. Abast.....	8
1.3. Justificació.....	9
2. Estat de l'art.....	10
2.1. Origen i història del <i>powdersurf</i>.....	10
2.1.1. Semblances amb altres esports.....	12
2.2. Anàlisi de mercat	14
2.3. Característiques i propietats del disseny	20
2.4. Processos de fabricació	23
3. Desenvolupament del prototip	25
3.1. Disseny conceptual.....	25
3.2. Disseny detallat (CAD)	27
3.3. Selecció del mètode de fabricació	29
3.3.1. Sistema de premsa al buit	30
3.3.2. <i>Roarokit Thin Air Press Kit</i>.....	30
3.4. Tria i adquisició de materials i eines.....	31
3.5. Disseny del motlle (CAD)	34
4. Fabricació del prototip	34
4.1. Fabricació del motlle	34
4.2. Fabricació de la taula	36
5. Estudi del comportament mecànic.....	40

5.1. Primers assajos a flexió	40
5.1.1. Taula de <i>skateboard</i>.....	40
5.1.2. Taula de <i>snowboard</i>.....	46
5.2. Estudi pel mètode dels elements finits.....	48
5.3. Assaig del prototip	54
5.4. Comparativa dels resultats	60
6. Pressupost	62
7. Impacte ambiental.....	64
8. Planificació	65
9. Conclusions	66
Bibliografia.....	68
Annexos	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducció

1.1. Objecte

El propòsit essencial d'aquest projecte és la fabricació d'un prototip de taula de *powdersurf* que ofereixi unes característiques i prestacions a l'alçada dels exemplars que ja són comercialitzats avui en dia.

Prèviament a la confecció del prototip serà de crucial importància realitzar un estudi del mercat actual, per conèixer els productes ja existents, tant les seves característiques com els diferents mètodes de fabricació emprats.

Per a poder avaluar els resultats obtinguts, es pretén fer un estudi del comportament mecànic de la taula de diferents maneres. S'analitzarà el prototip pel mètode dels elements finits i mitjançant un assaig a flexió, assaig al qual se sotmetran també uns exemplars de taules de *skateboard* i de *snowboard* fabricats industrialment, amb la finalitat d'obtenir dades orientatives.

Amb el desenvolupament d'aquest projecte s'espera definir un procés de fabricació que permeti obtenir el producte desitjat sense requerir cap tipus de coneixement previ pel que fa a la realització física d'aquest, de magnituds molt inferiors a qualsevol procés de fabricació industrial i que tingui en consideració l'aspecte econòmic i temporal.

1.2. Abast

Les principals limitacions d'aquest projecte són l'escassetat de recursos dels quals es disposa i el finançament de les despeses que s'hauran de realitzar, el difícil accés als materials o eines que seran necessàries per a la fabricació del prototip i el temps del que es disposa. Això influirà de manera directa en l'abast del projecte, que quedarà definit a continuació.

- **Documentació:**

Un estudi de mercat intens serà essencial per profunditzar en els coneixements sobre el *powdersurf*, així com per analitzar les diferents característiques dels productes ja existents i les prestacions que ofereixen i per comparar els diferents mètodes de fabricació i els materials emprats avui en dia.

- **Propietats físiques**

S'estudiarà el comportament mitjançant els medis disponibles. Es faran diversos assajos a flexió, que en el cas de la taula de *skateboard* i del prototip seran destructius, utilitzant les instal·lacions del laboratori del departament de Resistència de Materials. També es durà a terme un assaig virtual de la flexió de la taula pel mètode dels elements finits, emprant el *software* ANSYS. S'ha decidit prescindir d'altres tipus d'assaig que haurien pogut ser interessant, com un assaig a torsió.

Tampoc es durà a terme un estudi de la geometria de la taula emprant els mètodes estudiats a l'assignatura de Mecànica de Fluids, com poden ser la sustentació i la fricció de la superfície de contacte de la taula amb la neu, principalment degut a la extrema dificultat de modelitzar la neu pols. Tot i que el comportament d'aquesta es pot aproximar al d'un fluid (com es fa avui en dia en els estudis de prevenció d'allaus, per exemple), és molt difícil establir els seus paràmetres degut a les infinites variacions que presenta en funció de diversos factors que l'afecten, com poden ser la temperatura, la humitat, el vent, la incisió dels rajos solars, etcètera.

- **Confecció del prototip**

Amb aquest projecte s'espera obtenir dos prototips, un plenament funcional i que presenti un acabat decent i un altre amb el qual realitzar els assajos. El projecte se centrarà principalment en la construcció del cos de la taula i en tot el seu procés, al qual seran afegits a posteriori diferents elements per tal de facilitar el seu ús de manera eficient i segura. El disseny físic de la taula no tindrà fonaments teòrics, es basarà en les conclusions extretes de l'anàlisi de mercat.

1.3. Justificació

Personalment s'ha trobat en aquest treball una oportunitat d'investigar, estudiar, aprendre i satisfer una curiositat o interès que ja venia de temps enrere.

Com a amant de l'esport, sobretot de muntanya i encara més de neu, no es gens recent la idea de poder enfocar la vida laboral cap a una passió: el món de l'esquí. Al llarg de la seva jove vida l'autor ha practicat diferents esports de lliscament sobre taula, alguns amb més èxit que altres, com poden ser el *skateboard*, el *surf*, el *longboard* i majoritàriament l'esquí, tant alpí com de muntanya i de fora pista. Així doncs es va presentar l'oportunitat de conèixer un de nou i, encara més, poder-se fabricar la seva pròpia taula utilitzant els estudis cursats en els darrers anys.

Es presenta doncs, amb il·lusió, una oportunitat d'emprendre un projecte personal que podria resultar en la incisió en un sector laboral o en un projecte de futur, per no mencionar la pròpia curiositat d'incorporar un altre punt de vista més enllà de la mateixa pràctica del *powdersurf* com és l'enginyeria.

2. Estat de l'art

2.1. Origen i història del *powdersurf*

El mot “*powdersurf*”, com ell mateix indica en anglès, vol dir “surf de pols” o més aviat “surf de neu pols”, doncs “*powder*” és com es coneix aquest tipus de neu col·loquialment. El *powdersurf* es defineix doncs com un esport de lliscament sobre neu.

Tot i que aquest esport és considerablement poc conegut, doncs es va començar a comercialitzar fa una dècada als E.U.A., es podria dir que les seves arrels es remunten a un passat molt llunyà, arrels que comparteixen amb altres esports com l'esquí i el *snowboard*. És sabut que els esquís varen sorgir com a mitjà de transport o com a eina per facilitar el desplaçament en les civilitzacions del nord d'Europa, on el terreny nevad és molt abundant, i els historiadors situen l'origen d'aquests en dates anteriors a Crist.



Figura 1. Imatge de la pel·lícula 'The Last King' de Nils Gaup, basada en fets reals a Noruega datats al segle XIII (font: BackCountryTalk.com).

L'esquí com a esport però, no es va començar a popularitzar fins a principis del segle XX, esdevenint des d'aleshores un dels esports d'hivern més reconeguts arreu del món.

És el cas d'un altre esport, avui mundialment conegut, que va patir una evolució força similar a la de l'esquí: es tracta del *surf*. Tot i que el seu origen no data tant antic com l'esquí, el *surf* va sorgir inicialment com a mitjà de transport en les civilitzacions que habitaven les illes i les costes de l'Oceà Pacífic, com per exemple Hawaii. Era un estri usat majoritàriament per pescadors que permetia desplaçar-se aprofitant el moviment de les ones del mar. Posteriorment, també a principis del segle XX, es va començar a popularitzar com a esport.

Es podria dir que va ser a partir d'aquests dos esports que va sorgir el que es coneix com a *snowboard*, terme que en anglès vol dir “taula de neu”, als anys 1980 de la mà de Jake Burton Carpenter. Prèviament al *snowboard* va sorgir una altra modalitat d'esport de lliscament a la neu conegut com a *snurfing*, terme resultant de la unió dels molts “*snow*” i “*surfing*”. Tot i que no es va popularitzar gaire, aquest últim guarda una similitud amb el *powdersurf* molt important, que és el fet de no usar fixacions.



Figura 2. Imatge de Sherman Poppen, inventor del ‘snurfing’ a Michigan, E.U.A., al 1965 (font: Active-Traveller.com).

El *snowboard* però, sí que es va popularitzar ràpidament a finals del segle XX, i és aquest esport, que és avui en dia tant famós com l'esquí, el que és considerat el ‘pare’ del *powdersurf*.

Amb tot això es pot afirmar que la primera marca comercial de taules de *powdersurf* neix a Utah, E.U.A., a l'any 2007, creada per Jeremy Jensen: *GrassRoots Powdersurfing*. Paral·lelament es desenvolupen a Àustria la marca *Åsno* i al Japó la marca *Yukiita* (“*yuki*” o 雪 vol dir “neu” en japonès).



Figura 3. Imatge de Jeremy Jensen practicant ‘powdersurf’ (font: Powsurf.com).

2.1.1. Semblances amb altres esports

El *powdersurf* es defineix com un esport de lliscament sobre neu per mitjà d'una taula, com ja s'ha mencionat anteriorment. Així doncs es podrien diferenciar dos principals grups en funció de les seves similituds.

Per una banda, es tracta d'un esport de lliscament sobre neu, fet hereditari dels seus antecessors, l'esquí i el *snowboard*. Tot i així hi ha un fet molt característic i crucial que els diferencia, que és l'ús de fixacions. Tant l'esquí com el *snowboard* fa servir aquests accessoris per mantenir els peus de l'usuari fixes en la/les taules i, d'aquesta manera, guanyar control i estabilitat a l'hora de fer-los servir.

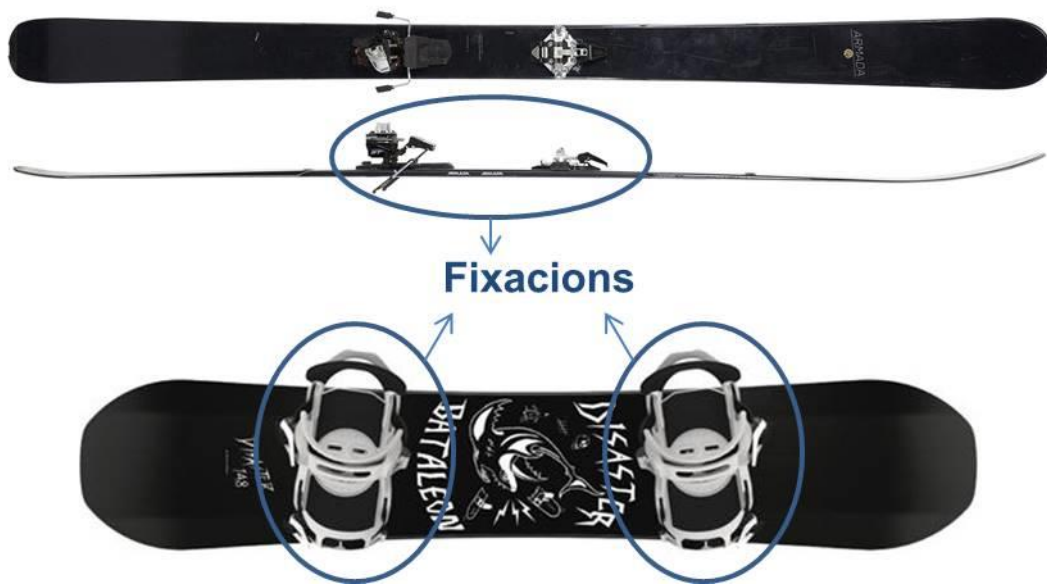


Figura 4. Imatge on es poden observar les fixacions d'un esquí i d'una taula de 'snowboard' (fonts: SkiTest.com i The-House.com).

A més a més, el fet de tenir un punt d'ancoratge és el que permet als esquís i a les taules de *snowboard* treballar en el seu règim òptim. La fixació és la part que permet inclinar l'esquí o la taula mitjançant torsió, provocant així que el canto incideixi en la neu. A això se li afegeix una flexió forçada del esquí o taula, degut al pes del usuari aplicat al centre de l'esquí, que es traduirà en la curvatura que proporciona el radi de gir, entre altres.



Figura 5. A l'esquerra: un esquiador realitzant un gir, fet que es coneix en anglès com a "carving". A la dreta: representació de la flexió de l'esquí produïda pel pes durant el gir (fonts: Chamonet.com i ResearchGate.net).

En el *powdersurf* en canvi, l'usuari no va amb els peus ancorats a la taula sinó que va dret sobre ella. Això implica que el tipus de neu sobre la qual s'ha de practicar aquest esport ha de ser necessàriament tova, doncs no es pot forçar la inclinació de la taula amb res més que el pes del propi usuari, com és el cas de la neu pols o "*powder*" mencionat anteriorment.



Figura 6. Un 'powdersurfer' realitzant un gir en neu pols (font: PowSurf.com).

Aquest últim fet mencionat fa que, per altra banda, es pugui relacionar el *powdersurf* amb uns altres dos esports dels que ha rebut part d'influència: el *surf* i el *skateboard*. A diferència de l'esquí i del *snowboard*, en aquests dos esports els peus de l'usuari van lliures sobre la taula, i és la geometria d'aquesta la que defineix el seu comportament i la seva eficiència. En aquests casos les taules solen ser força més rígides que els esquís o les taules de *snowboard*, doncs interessa que la seva forma geomètrica romangui constant, ja que per exemple, la longitud i curvatura d'una taula de *surf* defineixen directament el seu radi de gir.

Un altre motiu és que, tenint en compte que l'usuari no porta els peus fixes, com menys rígida sigui la taula més vibracions es podran produir en ella i menys estable serà. Per últim, amb la geometria de la taula no sols es pot definir el comportament d'aquesta, si no que també se la pot fer més ergonòmica, doncs per exemple, una lleugera concavitat a la seva superfície superior farà que els peus de l'usuari quedin més "recollits", donant-li així més tacte i una major maniobrabilitat.

Així doncs, no es fa estrany veure en el mercat actual semblances tant en l'aspecte físic com en els processos de fabricació i els materials emprats dels diferents esports mencionats. En el cas del *powdersurf* el que més s'assembla pel que fa a la fabricació i als materials és el *skateboard*, però pel que fa a la geometria té més similituds amb el *snowboard*, així que una hipòtesi inicial podria ser la d'obtenir un prototip amb unes característiques mecàniques situades entre les d'aquests dos productes.

2.2. Anàlisi de mercat

S'ha estudiat el mercat existent, que no és gaire extens, i s'ha recollit informació sobre els productes que ofereixen les cinc marques amb més renom (s'han obviat els tallers artesanals més petits dels quals no es disposa una informació detallada sobre els seus productes). Tot i que la majoria d'aquestes marques també es caracteritzen per una elaboració artesanal dels seus productes, tenen un tret comú que les diferencia de la resta: comercialitzen els seus productes a botigues locals i *online*.

A continuació es donarà una breu descripció d'aquests fabricants així com el recull d'informació realitzat. Aquest conté característiques de cada model de producte com les dimensions, el material, la forma de la base, el caràcter, el tipus de terreny pel qual està dissenyat, el preu, etcètera.

- **GRASSROOTS Powdersurfing**

Creada per Jeremy Jensen a Utah, E.U.A., a l'any 2007. Va ser la primera marca en comercialitzar taules de *powdersurf*. Tot i que el seu negoci s'ha desenvolupat al llarg d'aquesta darrera dècada, les instal·lacions de producció continuen trobant-se al mateix garatge on van començar, al poble de Logan. La seva producció és, per tant, artesana, i les seves taules estan principalment fetes de fusta. Va ser el primer fabricant en dotar els seus productes de concavitat tridimensional (tret que s'explicarà al proper apartat). El preu dels seus oscil·la entre els 320 i els 480 USD en funció de l'acabat, les dimensions i la gamma. Els productes de gamma superior solen incorporar una sola feta amb *p-tex* (polietilè o HMPE), material usat també per a fer les soles dels esquís i de les taules de *snowboard*, que dona un millor lliscament degut a la fàcil absorció de ceres que presenta i una fàcil capacitat de ser reparat després de ser ratllat.



Figura 7. El creador de la marca i un dels pioners del 'powdersurf', Jeremy Jensen, al garatge on fabrica els seus productes. També es pot veure la icona de la marca (font: PowSurf.com).

Es pot observar a les *Taules 1 i 2*, mostrades a la propera pàgina, la informació detallada de les característiques de cada model de taula fabricada per GRASSROOTS.

Marca / modela	Longitud (cm)	Rocker	Ancho	Grosor (mm)	Forma base	Madera	Material base
GRASSROOTS Powdersurfing							
Flying Carpet 3D	140 / 150**	Sí	Standard* Narrow Extra Narrow	?	3D	Normal ? Black ? Exotic ?	P-tex / Madera
Slasher 140cm 3D	140	Sí	Standard* Skinny	?	3D	Exotic ?	P-tex / Madera
Stealth 145cm 3D	145	Sí	Standard*	?	3D	Normal ?	P-tex / Madera
Barracuda	140 / 150	Sí	Standard*	?	Flat / 3D	Normal ? Black ? Exotic ?	P-tex / Madera
Winterstoke DM Limited Edition	140 / 150	Sí	Standard*	?	3D	Normal ?	P-tex / Madera
Megalodon 150cm	150	Sí	Standard*	?	3D	Normal ? Exotic ?	P-tex / Madera
Powder Slut 140cm 3D	140	Sí	Standard*	?	3D	Normal ? Black ? Exotic ?	P-tex / Madera
Caddy 150cm 3D	150	Sí	Standard*	?	3D	Normal ? Exotic ?	P-tex / Madera
Big Phish 150cm 3D	150	Sí	Standard*	?	3D	Normal ?	P-tex / Madera
Powder Skate Twin 140cm	140	Sí	Standard*	?	Flat	Normal ?	P-tex / Madera
Great White 140cm 3D	140	Sí	Standard*	?	3D	Normal ?	P-tex / Madera

Taula 1. GrassRoots Powdersurfing (part 1)

Marca / modela	Nose	Tail	Terreno	Comportamiento	Tipo de nieve	Características	Precio	Link
GRASSROOTS Powdersurfing								
Flying Carpet 3D	Redondo Convexo	Recto Convexo	Polivalente	Juguetería Bidireccional	Powder Variable **Deep powder	Buena flotación Ágil y con 'pop'	429,95 \$	https://www.powsurf.com/product/flying-carpet-3d/
Slasher 140cm 3D	Alargado Convexo	Mordido Convexo	Polivalente	Surf-like	Soft-snow Powder	Buena flotación Fácil carveo	479,95 \$	https://www.powsurf.com/product/slasher-140cm-3d-exotic-woods/
Stealth 145cm 3D	Triangular Convexo	Cola de pez Plano	Pendiente suave / intermedia	Soft-turn	Variable	Nose flex Deep tail	399,95 - 420 \$	https://www.powsurf.com/product/stealth-145cm-3d/
Barracuda	Pincho Convexo	Mordido Convexo	Polivalente Big Mountain	Quick-turn	Variable pow Hot wind affected	Buena flotación Estable a alta velocidad	379,95 - 420 \$	https://www.powsurf.com/product/barracuda-3d-150cm/
Winterstoke DM Limited Edition	Pincho Convexo	Swallow Plano	Pendiente suave / intermedia	Surf-like	Deep powder	Giro ágil en nieve profunda	420 - 499,95 \$	https://www.powsurf.com/product/winterstoke-dm-limited-edition/
Megalodon 150cm	Pincho Perfil bajo	Cola de pez Plano	Open terrain Pendiente suave /	Soft-turn	Deep powder	Buena precisión en el giro	399,95 - 420 \$	https://www.powsurf.com/product/megalodon-150cm/
Powder Slut 140cm 3D	Redondo Convexo	Redondo Convexo	Open / technical terrain	Surf-like Juguetería Freestyle Bidireccional	Deep powder	Muy buena flotación	429,95 \$	https://www.powsurf.com/product/powder-slut-3d-140cm-black-on-black/
Caddy 150cm 3D	Recto Convexo	Mordido Convexo	Steep / open terrain	Long turns	Deep powder	Muy buena flotación Estable a alta velocidad	399,95 - 420 \$	https://www.powsurf.com/product/caddy-150cm-3d/
Big Phish 150cm 3D	Pincho Convexo	Cola de pez Plano	Open terrain Pillow zones	Surf-like	Deep powder	Excelente flotación	420 \$	https://www.powsurf.com/product/big-phenix-150cm-3d-base/
Powder Skate Twin 140cm	Redondo Convexo	Redondo Convexo	Open terrain	Surf-like Skate-like Freestyle Bidireccional	Powder Deep powder	Buena flotación Ágil y con 'pop'	379,95 \$	https://www.powsurf.com/product/powder-skate-twin-140cm/
Great White 140cm 3D	Redondo Convexo	Mordido Convexo	Polivalente	Surf-like Juguetería	Powder Deep powder	Buena flotación Buena precisión en el giro	420 \$	https://www.powsurf.com/product/great-white-140cm/

Taula 2. GrassRoots Powdersurfing (part 2)

- **FOOTPRINT Powder Surfs**

Fabricant ubicat als Alps italians, es caracteritza per ser un fidel defensor de la fabricació artesana. Tots els seus productes estan fets exclusivament de fusta, a la qual se li aplica un tractament superficial amb olis i resines ecològiques per tal de protegir i impermeabilitzar la taula. Un fet interessant és que a més a més del ventall de productes que ofereixen, donen al client l'opció de triar un producte personalitzat (*"custom"* en anglès), i d'aquesta manera obtenir un producte "fet a mida". Els preus dels seus productes oscil·len entre els 330 i 390 euros, en funció de si és un producte fabricat en sèrie o si es tracta d'un producte únic.



Figura 8. Alguns dels productes que ofereix FOOTPRINT i el seu logotip (font: FootPrintPow.com).

Es pot observar a les *Taules 3 i 4*, mostrades a continuació, la informació detallada de les característiques de cada model de taula fabricada per *FOOTPRINT*.

Model/modela FOOTPRINT Powder Surfs	Longitud (cm)	Rocker	Ancho (cm) (pic del /trancera)	Grosor (mm)	Forma base	Madera	Material base
Cut Back	137	Sí	33,5 / 31,5	?	3D	?	Madera
Big Spin	133	Sí	33,5 / 31,5	?	3D	?	Madera
Cover Up	139	Sí	33,5 / 31,5	?	3D	?	Madera
Monviso	143	Sí	33 / 30,05	?	Flat	?	Madera
Nivolè	140	Sí	34,5 / 32,5	?	Flat	?	Madera
Melezet	132,5	Sí	34,5 / 32,5	?	Flat	?	Madera
Gran Paradiso	137	Sí	33,5 / 31,5	?	Flat	?	Madera
Weissmatten	133	Sí	34 / 30	?	Flat	?	Madera

Taula 3. FootPrint Powder Surfs (contingut en castellà, part 1)

Marca / modelo	Nose	Tail	Terreno	Comportamiento	Tipo de nieve	Características	Precio (euro)	Link
FOOTPRINT Powder Surfs								
Cut Back	Pincho Convexo	Mordido Convexo	Polivalente	Versátil	Variable Powder	Eficaz en terreno abierto y en bosque Buena estabilidad en giro	3291	https://footprintpow.com/product/cut-back/
Big Spin	Recto Convexo	Triangular Convexo	Small terrain Pillows	Skate-like Juguetón Bidireccional	Powder	Buena flotación Ágil y con 'pop'	3291	https://footprintpow.com/product/big-spin/
Cover Up	Triangular Convexo	Redondo Convexo	Open terrain	Surf-like	Powder snow Dry	Buena flotación	3291	https://footprintpow.com/product/cover-up/
Monviso	Pincho Convexo	Catamaran Convexo	Open / Steep terrain	Versátil	Variable Powder		3891	https://footprintpow.com/product/monviso/
Nivolè	Redondo Convexo	Catamaran Convexo	Open terrain	Juguetón	Deep powder	Buena flotación	3891	https://footprintpow.com/product/nivole/
Melezet	Mordido Convexo	Mordido Convexo	Small terrain Pillows	Juguetón Freestyle Bidireccional	Powder	Buena flotación Ágil y con 'pop'	3891	https://footprintpow.com/product/melezet/
Gran Paradiso	Triangular Convexo	3 mordido Convexo	Polivalente	Floaty and fast	Deep powder	Buena flotación Rápida respuesta	3891	https://footprintpow.com/product/gran-paradiso/
Weissmatten	Triangular Convexo	Triangular Convexo	Steep / open terrain	Fast	Powder	Ágil y con 'pop'	3891	https://footprintpow.com/product/weissmatten/

Taula 4. FootPrint Powder Surfs (contingut en castellà, part 2)

- **ÄSMO Powsurfer**

ÄSMO va sorgir a l'any 2006 com a un projecte de les mans de Wolfgang Nyvelt i Stefan Gruber a la vall de Zillertal, Àustria. Els productes que ofereix aquest fabricant es podria dir que són d'una gamma superior als dels demés. El nucli de les taules sol estar fet de fusta de paulònia, mecanitzat per control numèric, o de fibra de carboni. Per al recobriments de la base fan servir PPG 8000, un dels productes de l'empresa americana PPG basat en poliuretà. Aquesta empresa està especialitzada en recobriments ("coatings" en anglès) per a molts tipus d'aplicacions diferents, des d'aplicacions industrials a navals o aeroespacials i fins i tot d'envasat. El producte també incorpora un panell d'escuma amb relleu adherent per a garantir una bona adherència dels peus de l'usuari. Els seus productes, de fabricació més complexa que els que s'han vist fins ara, estan a la venda per un preu de 924 euros.



Figura 9. Imatge del taller d'ÄSMO i del seu logotip (font: Aesmo.d-item.com i GearLimits.nl).

Es pot observar a les *Taules 5 i 6* la informació detallada de les característiques de cada model de taula fabricat per *ÄSMO*.

Marcas / models ÄSMO Powsurfer	Longitud (cm)	Rocker	Ancho (cm) Nare / Waist / Tail	Grosor (mm)	Forma base	Madera Top / Core	Material base
Zsigmondy 139	139	Sí	34 / 28,2 / 29,7	?	3D	Beech Veneer	PPG 8000 Sintered
SI 144	144	Sí	34 / 28,1 / 29,6	?	3D	Beech Veneer Pawlonia	PPG 8000 Sintered
SI 152	152	Sí	34 / 28,3 / 30	?	3D	Beech Veneer Pawlonia	PPG 8000 Sintered
Phantom 153	153	Sí	34 / 28,1 / 29,6	?	3D	Beech Veneer	PPG 8000 Sintered
Fish 153/157	153 / 158	Sí	36,4 / 26,3 / 33	?	3D	Beech Veneer Pawlonia	PPG 8000 Sintered
Voyager 165	165	Sí	35,2 / 28,8 / 29,1	?	3D	Beech Veneer	PPG 8000 Sintered

Taula 5. ÄSMO Powsurfer (contingut en castellà, part 1)

Marcas / models ÄSMO Powsurfer	Nose	Tail	Terreno	Comportamiento	Tipo de nieve	Características	Precio * (euros) *pack incluye pad prefabricado, leash y rasador	Link
Zsigmondy 139	Redondo Convexo	Cola de pez	Polivalente	Progresivo Surf-like	Powder (+10cm)	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=63
SI 144	Redondo Convexo	Redondo Convexo	Polivalente Trees Pillows Steep	Progresivo Juguetón Bidiereccional	Powder (+10cm)	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=67
SI 152	Redondo Convexo	Mordido Convexo	Polivalente Trees Pillows Steep	Progresivo Versátil	Deep powder	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=66
Phantom 153	Redondo Convexo	Swallow Convexo	Polivalente	Rápido Versátil	Powder (+10cm)	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=108
Fish 153/157	Alargado Convexo	Swallow Convexo	Polivalente	Surf-like Rápido Control en giro	Powder (+10cm) Deep powder	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=65
Voyager 165	Recto Convexo	Cola de pez Convexo	Polivalente	Surf-like Versátil	Deep powder	Reforzada con FC	9241	http://asmo.d:item.com/index.php?id=71

Taula 6. ÄSMO Powsurfer (contingut en castellà, part 2)

- **ILAHU Snow Surfboards**

ILAHU neix de la unió entre Jan Leutola, *surfer* i fuster, i Maxim Narbrough, dissenyador. Aquest fabricant, basat a Finlàndia, és artesà i es caracteritza pel bon acabat estètic que presenten els seus productes, que són de fusta de bedoll en la seva totalitat. La marca esta associada amb l'organització sense ànim de lucre *POW (Protect Our Winters)*, encarregada de promoure un futur més sostenible i "fresc". El preu de tots els productes és de 445 euros.

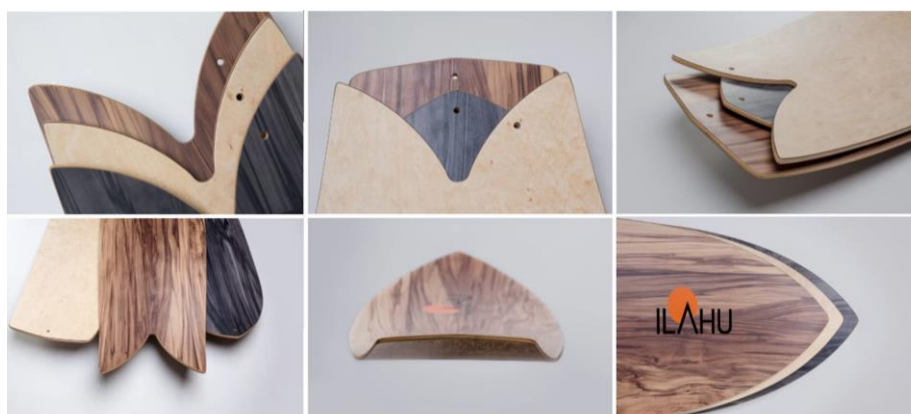


Figura 10. Diferents imatges dels productes oferts per ILAHU (font: IlahuBoards.com).

A les *Taules 7 i 8* es pot veure la informació detallada de cada model fabricat per *ILAHU*.

Marcas/modelos ILAHU Snow Surfboards	Longitud (cm)	Rocker	Ancho (cm) max.	Grosor (mm)	Forma base	Madera core / topsheets	Material base
Tiira - The Arctic Tern	142,7	Sí	34	8,5	3D	Birch ply Birch veneer (tres colores)	Madera*
Haukka - The Falcon	143	Sí	32,9	8,5	3D	Birch ply Birch veneer (tres colores)	Madera*
Seipi - The Dace	143,5	Sí	34,2	8,5	3D	Birch ply Birch veneer (tres colores)	Madera*

Taula 7. ILAHU Snow Surfboards (contingut en castellà, part 1)

Marcas/modelos ILAHU Snow Surfboards	Nose	Tail	Terreno	Comportamiento	Tipo de nieve	Características	Precio (euro)	Link
Tiira - The Arctic Tern	Pincho Convexo	Recto Convexo	Polivalente Bosque Steep terrain	Versátil Surf-like	Variable Powder	Buena estabilidad Giros rápidos	4451	https://ilabboards.com/webshop/tiira-arnaut
Haukka - The Falcon	Almendra Convexo	Almendra Convexo	Steep terrain	Carving Fast	Variable Powder	Estable y maniobrable a alta velocidad	4451	https://ilabboards.com/webshop/haukka-arnaut
Seipi - The Dace	Pincho Convexo	Cola de pez Convexo	Polivalente Bosque Open terrain	Surf-like Carving	Deep powder	Muy buena flotación Requiere más fuerza para giro	4451	https://ilabboards.com/webshop/seipi-arnaut

Taula 8. ILAHU Snow Surfboards (contingut en castellà, part 2)

- **SHARK Snowsurf**

Aquest és el fabricant més petit de tots els mencionats. Tim Wesley és un fabricant artesà que, en el seu taller particular, fabrica taules fetes de fusta. A diferència dels altres fabricants, defensa la idea de que no és necessari el *rocker* de la taula per a garantir una bona flotació a la neu (el concepte *rocker* s'explica en el proper apartat). Ofereix una ampla varietat de dimensions per alguns dels seus productes, de manera que es pugui adquirir una taula amb les dimensions més ajustades per l'usuari. Tots els seus productes tenen un preu de 400 USD.



Figura 11. Tim Wesley amb dos dels seus productes (font: SharkSnowsurf.com i Flickr.com).

El recull d'informació d'aquest fabricant es pot veure a les taules següents.

Marca/modela	Longitud (cm)	Rocker	Ancho (cm) nose / tail	Grosor (mm)	Forma base	Madera	Material base
SHARK Snowsurf							
Goblin	145	No	32,5 / 27	?	2D	?	Madera
	148		33,5 / 27,5				
	151		34,5 / 28,5				
	153		35 / 29				
	155		35,5 / 29,5				
Needle	145	No	34,5 / 26,5	?	2D	?	Madera
	148		35 / 27				
	151		35,5 / 27,5				
	153		36 / 28				
Chuna	143	No	35 / 27	?	2D	?	Madera
Big Chuna	142	No	36,5 / 28,5	?	2D	?	Madera

Taula 9. SHARK Snowsurf (contingut en castellà, part 1)

Marca/modela	Nose	Tail	Terreno	Comportamiento	Tipo de nieve	Características	Precio	Link
SHARK Snowsurf								
Goblin	Pincho (spoon)	Pincho (Alas) (spoon)	Polivalente	Versátil	Variante Powder	Buena transición de giro	400 \$	https://www.sharksnowsurf.com/goblin
Needle	Pincho (spoon)	Pincho (spoon)	Polivalente	Versátil	Variante Powder Deep powder	Buena flotación	400 \$	https://www.sharksnowsurf.com/needle
Chuna	Pincho (spoon)	Cola de pez (spoon)	Polivalente	Versátil Surf-like	Variante Powder	Buena transición de giro Giro fácil	400 \$	https://www.sharksnowsurf.com/chuna
Big Chuna	Pincho (spoon)	Cola de pez (spoon)	Polivalente	Versátil Surf-like	Powder Deep powder	Buena transición de giro Giro fácil	400 \$	https://www.sharksnowsurf.com/bigchuna

Taula 10. SHARK Snowsurf (contingut en castellà, part 2)

A partir del recull d'aquesta informació s'ha procurat definir com les diferents característiques geomètriques i materials influeixen en les propietats de cada taula. Aquestes característiques i les seves influències s'expliquen en el proper apartat.

2.3. Característiques i propietats del disseny

A continuació es mostraran les característiques més rellevants i la seva utilitat.

- **Característiques geomètriques**

Dimensions: la longitud, l'amplada i el gruix.

Rocker: com a *rocker* es coneix la curvatura de l'eix longitudinal de la taula.

Formes: la forma del *nose* ("nas" en anglès, es refereix a la part davantera de la taula), del *tail* ("cua" en anglès, es refereix a la part del darrere de la taula) i la de la base.

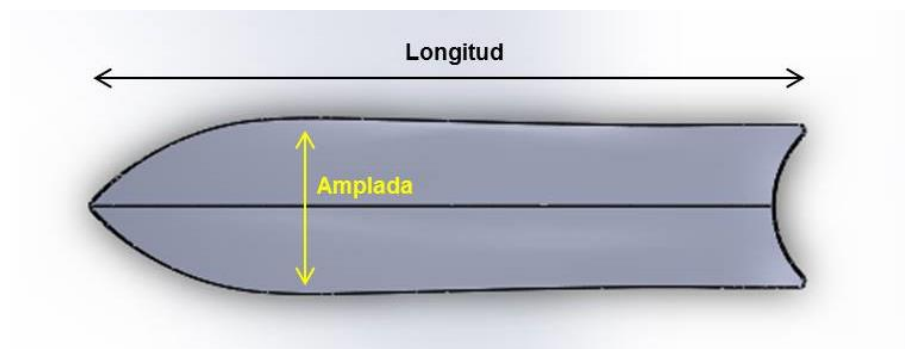


Figura 12. Vista de la planta del disseny de la taula.

La **longitud** i l'**amplada** són dos paràmetres crucials, doncs depèn d'ells dotar a la taula d'una superfície suficient com per proporcionar flotació sense renunciar a una bona maniobrabilitat. El **gruix**, visible a la Figura 7, depèn del procés de fabricació i del material de la taula, doncs serà el que aportarà la rigidesa adient per no trencar-se.

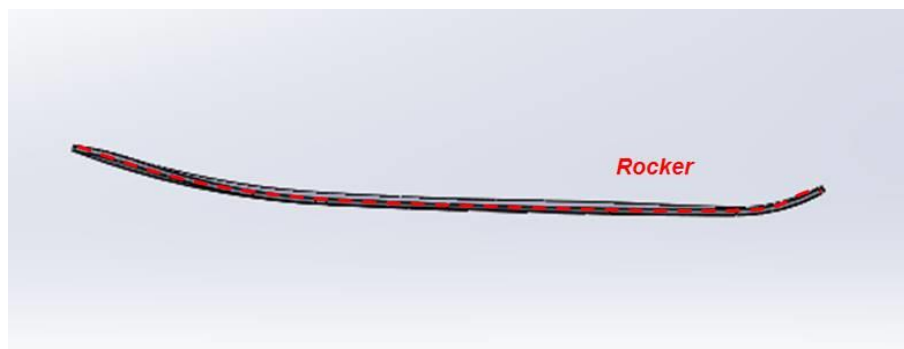


Figura 13. Vista del perfil del disseny de la taula

El **rocker** també contribueix a l'hora de proporcionar flotació a la taula.

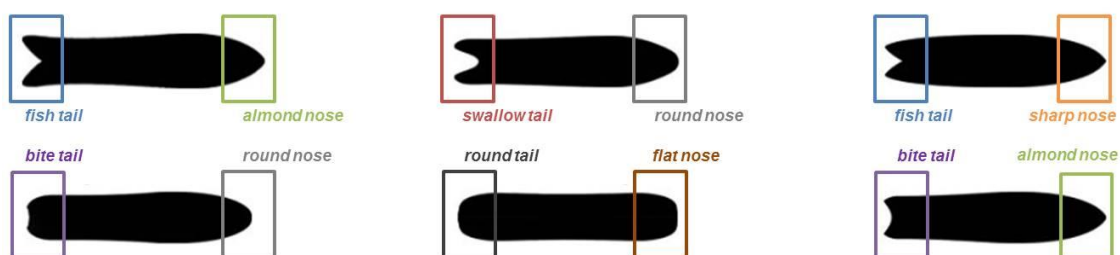


Figura 14. Plantilla on es poden observar diferents combinacions de les principals formes de les espàtules ('nose' les de la dreta i 'tail' les de l'esquerra) així com la seva denominació. En anglès, d'esquerra a dalt a dreta a baix: 'fish': peix; 'tail': cua; 'almond': ametlla; 'nose': nas; 'swallow': oreneta; 'round': rodó/na; 'sharp': esmolat; 'bite': mossegar; 'flat': plà (font: Powsurf.com, edició posterior pròpia).

De tots els paràmetres físics de la taula, la forma del *nose* i del *tail* seran els que més influiran en el comportament d'aquesta, i estan dissenyats en funció del tipus de neu per la qual s'utilitzarà.

El **nas o nose** (part davantera) serà la part que contingui el punt més elevat de la taula, doncs quan aquesta es trobi en moviment serà l'encarregada de "tallar" la neu. Es pot observar a la *Figura 6* que hi ha algunes més esmolades que altres (en ordre de més a menys: *sharp, almond, round, flat*). Un *nose* esmolat serà capaç de tallar neu d'una textura més dura permetent que els laterals de la taula s'enfonsin lo suficient com per treballar de manera eficient al girar. Un *nose* més ample, per tant, serà l'adient per aquelles neus més flonges i lleugeres, doncs aquest tipus de neu no oposarà gairebé resistència als laterals de la taula per incidir-hi.

La **cua o tail** (part posterior) serà molt important per la taula de *powdersurf* a l'hora de mantenir el gir sense lliscar lateralment, i les seves diferents formes també estan especificades per a certs tipus de neu. Es pot observar a la imatge anterior que hi ha algunes que tenen la incisió més punxeguda que altres (en ordre de més a menys: *fish, swallow, bite, round*). Per incisió s'entén la forma retallada que tenen algunes de les taules a la seva cua.

Com es pot observar a la *Figura 6*, quan una taula de *powdersurf* realitza un gir és la cua la part que més s'enfonsa. El fet de que aquesta estigui retallada, presentant així una incisió més o menys gran, fa que la neu per sobre de la qual passa la taula pateixi un efecte de "canalització", fent que la neu s'evacui per aquesta incisió o retall.

Com més gran sigui la incisió més neu podrà canalitzar, permetent que la part posterior de la taula s'enfonsi més, i d'aquesta manera la taula guanyarà tracció en el gir fent més difícil que llisqui lateralment. L'efecte causat en el comportament de la taula per aquest retall de la cua, junt amb la concavitat de la base, es podria assimilar al de les quilles en una taula de surf o en el casc d'un vaixell de vela.

En funció del tipus i la profunditat de la neu i de la "sensació" de gir que se li vulgui donar a la taula, serà més adient triar un tipus de cua o un altre.



Figura 15. Vista de la secció central de la taula.

Per últim, com a **forma de la base** s'entén el tipus de curvatura que té. El *rocker*, ja mencionat abans, li donarà una curvatura longitudinal. Si, a més a més, la taula té una certa curvatura transversal es dirà que la base es tridimensional (3D); un altre cas és que la taula només disposi de *rocker* pel que fa a la concavitat de la seva base, presentant així curvatura únicament longitudinal (alguns fabricants la defineixen com bidimensional tot i que a e efectes pràctics no ho sigui). A la *Figura 15* es pot veure la forma de la secció de la taula dissenyada. Aquesta curvatura transversal afavorirà l'efecte de canalització de la neu, proporcionant un gir més estable i dificultant el lliscament lateral.

2.4. Processos de fabricació

Pel que fa als processos de fabricació de les taules de *powdersurf*, si que s'han trobat certes similituds amb els processos de fabricació d'altres esports mencionats anteriorment com l'esqui, *snowboard*, *skateboard* o *surf*, però ha resultat ser un tema força més acotat del que s'esperava.

Partint de que el producte bàsic i essencial per a fabricar aquestes taules és, per ara, la fusta (en alguns casos, per productes d'alta gamma, també s'utilitzen fibres de vidre o de carboni) es podria dir que tots els fabricants segueixen un procés bàsic:

- **Encolat i premsat de la fusta:** les làmines de fusta, prèviament tallades a les dimensions adients, s'encolen entre elles i es premsen, deixant-les reposar un cert temps per a que la cola s'endureixi i la deformació de la fusta sigui permanent.
- **Tall del perfil:** un cop s'extreu el conjunt de làmines encolades de la premsa, es procedeix a tallar-les seguint el perfil dissenyat prèviament per a la taula. Normalment es dibuixa aquest perfil sobre la fusta o s'utilitza una plantilla impresa per a facilitar un tall precís.
- **Acabat i tractaments superficials:** després de tallar la fusta és l'hora de polir-la, remonent així possibles estelles i imperfeccions superficials que pugui presentar la fusta de manera natural, o que hagin estat resultants de les fases prèvies del procés de fabricació. Per acabar se sol aplicar algun tractament superficial a la fusta de cara a impermeabilitzar-la i protegir-la de l'erosió.



Figura 16. D'esquerra a dreta i de dalt a baix: encolant les làmines; dibuixant el perfil a retallar sobre la fusta ja deformada; polint les vores de la taula; aplicant tractament superficial (font: FootPrintPow.com).

Com és el cas de la fabricació de taules de *skateboard*, la matèria prima de les taules de *powdersurf* són làmines de fusta de gruix reduït, entre 0,5 i 1,5 mil·límetres cada una, conjunt de les quals acaba formant el gruix total de la taula que se situa entre els 10 i els 15 mil·límetres.

Per a la fase de premsat és important fer servir un mètode que sigui capaç d'aplicar una pressió elevada i uniformement distribuïda al llarg de tota la làmina, doncs és a la premsa on, amb l'ajuda d'un motlle, es donarà la forma a la taula.

En els processos industrials se solen utilitzar premses pneumàtiques, com en la indústria de l'esquí, doncs són el tipus de premsa més fiable i aquelles que són capaces d'exercir la major pressió uniforme, a més que se les pot equipar amb escalfadors per afavorir el modelat. Per contra, necessiten dos motlles, inferior i superior, són molt voluminoses i el seu cost és elevat, per no mencionar la inversió de temps i diners que implicaria fabricar-ne una. És per això que s'han descartat per aquest projecte.

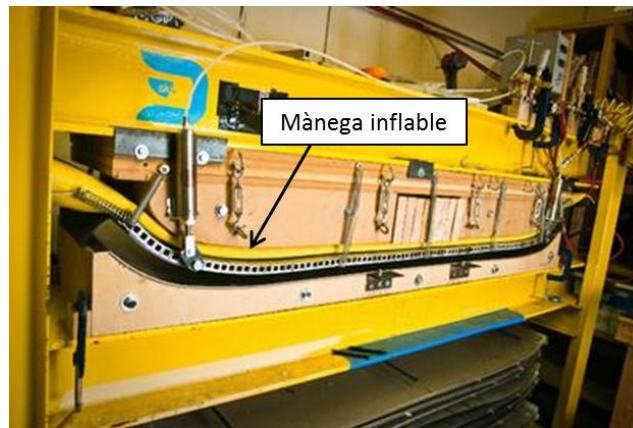


Figura 17. Imatge d'una premsa pneumàtica per fabricar esquís, amb els motlles superior i inferior (font NewSchoolers.com).

Un altre tipus és la premsa mecànica. És un sistema de premsat més habitual en els processos de fabricació artesans. El seu principal problema però, és l'aplicació de la pressió, sent molt difícil que aquesta sigui suficientment uniforme com per a garantir un premsat de qualitat. A més a més també implica l'ús d'una estructura rígida, el que la fa resultar molt voluminosa i, en cas de tenir que fabricar-la, augmentaria el cost material considerablement.



Figura 18. Exemple d'una premsa mecànica per a un procés de fabricació artesà mitjançant una estructura de barres (font WhiteAdventure.com).

L'últim tipus de premsat considerat és el premsat al buit. Mitjançant una bossa, suficientment resistent, equipada amb una vàlvula per extreure-li l'aire i un motlle amb la forma que se li vulgui donar a la taula, es podrà premsar el laminat de fusta mitjançant una pressió totalment uniforme i de magnitud suficient com per a deformar-lo. Un altre punt a favor és la seva simplicitat d'ús i el poc volum que ocupa un cop emmagatzemat després d'haver-lo fet servir.



Figura 19. Imatge on es pot observar unes làmines de fusta premsades amb una bossa al buit per conformar una taula de 'skateboard' (font Roarokit.com).

Pel que fa als tractaments superficials, aquests varien segons el fabricant: des de olis per a fusta, vernís i resines (per exemple epoxi) fins a recobriments amb soles de *p-tex* (polietilè, també conegut com HMPE) usades en productes com els esquís o les taules de *snowboard*.

3. Desenvolupament del prototip

3.1. Disseny conceptual

Com s'ha esmentat anteriorment, a partir de l'estudi del mercat existent s'ha pogut determinar com les diferents geometries afecten al comportament de la taula. Ha sigut així doncs com, junt amb l'experiència pròpia sobre el tipus de neu i del terreny usual als Pirineus catalans, s'han establert les especificacions desitjades pel que fa a la geometria del prototip. Aquestes han estat les següents:

Longitud	140 cm	Rocker	Sí (detalls a continuació)	Forma base	3D
Amplada	35 cm	Nose	<i>Almond</i> (ametlla)	Material base	Fusta i vernís
Gruix	10 mm	Tail	<i>Bite</i> (mossegada)	Fusta	<i>Birch Veneer</i> (làmines de bedoll)

Taula 11. Especificacions del disseny del prototip.

Abans de tot cal esmentar que la fabricació d'un producte com el que es pretén obtenir en aquest projecte sol ser mitjançant un procés iteratiu prova-error. Això significa que un cop establertes les especificacions per primera vegada es testeja el producte i, si és convenient, alguna d'aquestes especificacions pot ser modificada. Aquest procés es repeteix fins assolir el producte amb les característiques desitjades. En aquest projecte però, només es disposa d'un prototip a fabricar, motiu pel qual les especificacions només es podran establir una vegada. Aquestes s'expliquen tot seguit.

Una **longitud** aproximada de 140 centímetres és una mesura força estàndard per a una taula que ha de ser usada per un adult d'estatura i pes mitjà, tenint en compte que li haurà de proporcionar suficient flotació sense sacrificar mobilitat.

L'**amplada** que es prendrà com a referència és de 35 centímetres. Es diu de referència doncs acabarà sent el perfil de la taula el que determinarà la seva amplada, que variarà lleugerament en sentit longitudinal al llarg del seu cos central, sent més ample a la part del davant (unió amb el *nose*) i més estreta a la part del darrere (unió amb el *tail*).

El **gruix** de la taula estarà al voltant dels 10 mil·límetres, serà determinat fonamentalment pel gruix i el nombre de les diferents làmines de fusta que s'utilitzin. S'ha pogut observar com en el cas del *skateboard*, que comparteix un procés de fabricació molt similar, és una mesura molt habitual.

S'ha decidit corbar lleugerament l'eix longitudinal de la taula, facilitant així la seva flotació en neus profundes. Aquesta curvatura és el que es coneix com a **rocker** (*Figura 13*). Prenent com a referència el punt d'unió entre el cos central de la taula i la part posterior (*tail*), s'ha traçat un arc de radi constant de manera que el punt d'unió entre el cos central i el *nose* quedés a una alçada de 20 mm respecte al punt de referència. A partir d'aquest punt, un altre arc de radi inferior serà el que definirà la curvatura del *nose*, portant el seu punt més alt a una alçada de 120 mm respecte al punt de referència. Aquests detalls es poden observar més endavant, a la *Figura 21*.

El perfil de l'espàtula davantera o **nose** tindrà forma d'ametlla, doncs és una bona opció per a tallar neu de relleu i duresa variable i a l'hora és capaç de proporcionar suficient flotació en condicions de neu mes fonda. Als Pirineus és freqüent la neu ventada, que té una textura superficial més dura però és flonja per sota, formant una "crosta".

Degut al tipus de neu ja mencionat i a que aquesta no sol assolir uns nivells de profunditat exagerats s'ha triat un perfil de **tail** mossegat. La mida de la seva incisió farà que resulti més fàcil la canalització de la neu quan n'hi hagi poca. Es poden observar els perfils de *nose* i *tail*, així com la variació de l'amplada a la *Figura 12*.

La **forma de la base** serà tridimensional. Això vol dir que la taula també estarà corbada transversalment. Es pot veure una representació de la seva secció a la *Figura 15*. Aquesta forma de secció es la que provoca l'efecte de canalització de la neu sota la taula, proporcionant més estabilitat en el gir.

Per últim, s'ha decidit que la **base** serà la pròpia fusta de la taula tractada superficialment per tal d'evitar el seu desgast i proporcionar un millor lliscament. Un tipus de **fusta** que dóna bon rendiment mecànic es la fusta de bedoll (*birch* en anglès), molt similar a la fusta d'auró (*maple*), que és la més usada en la indústria del *skateboard*.

3.2. Disseny detallat (CAD)

Un cop establertes les especificacions desitjades pel prototip, s'ha procedit al seu disseny tècnic emprant el *software* de dibuix assistit per ordinador (CAD) *SolidWorks*.

El primer pas ha estat fer el croquis de la projecció plana de la taula, amb totes les mesures pertinents. S'ha dissenyat inicialment la projecció per que la taula serà una superfície tridimensional, i per exemple, la longitud establerta de 140 centímetres correspon a l'alçada física que tindrà la taula un cop fabricada, mesurada de manera lineal sense tenir en compte la curvatura.

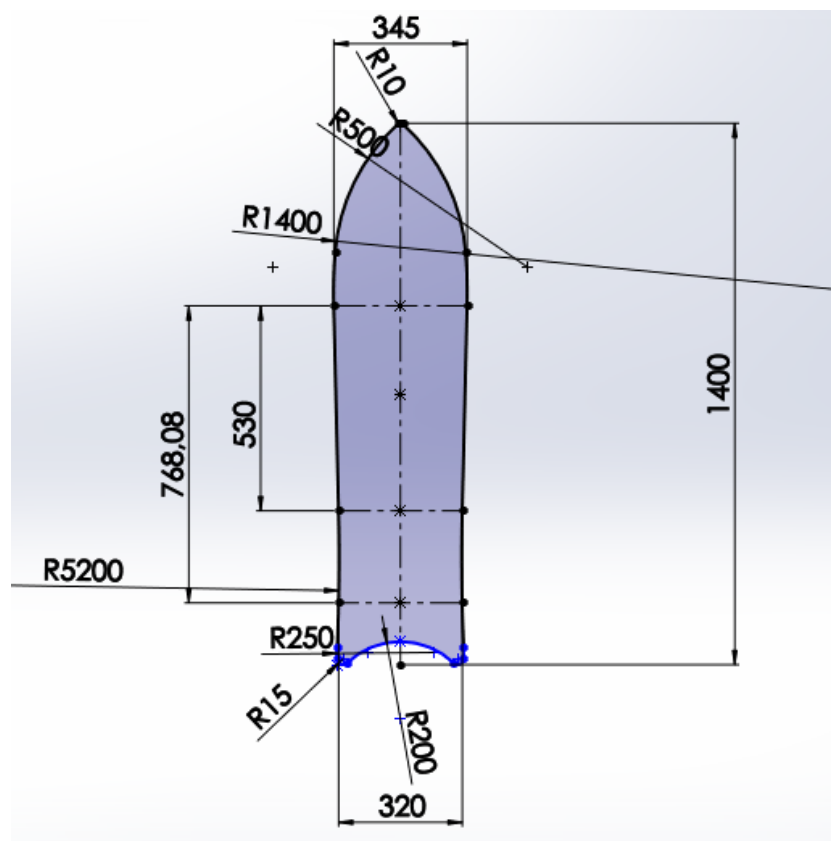


Figura 20. Croquis 2D inicial de la projecció de la planta de la taula.

Un cop definit el disseny bidimensional, s'ha procedit al tridimensional. Traslladant certs punts de la projecció s'han obtingut les corbes guia del cos de la taula, les quals definiran la seva curvatura superficial. Aquestes corbes s'han dibuixat fent croquis en diversos plans transversals a la taula i un croquis en el seu pla longitudinal.

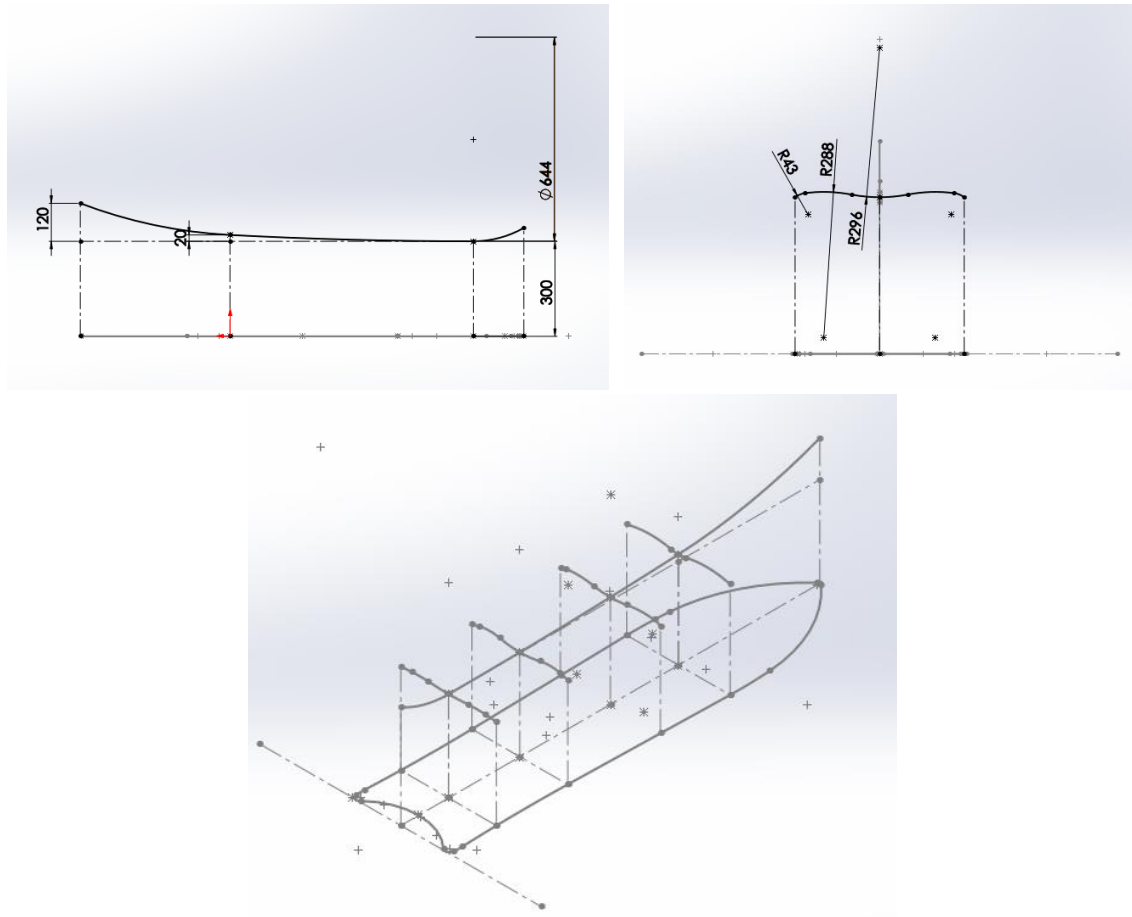


Figura 21. A dalt a l'esquerra es pot veure el croquis realitzat al pla longitudinal, i a la dreta el transversal. A la imatge inferior es mostra el conjunt de corbes guia junt amb la projecció de la taula.

Per acabar, emprant les corbes guia per a definir la curvatura i la projecció de la taula per a definir els límits de la superfície tridimensional, s'ha generat aquesta obtenint així el disseny del prototip de la taula.

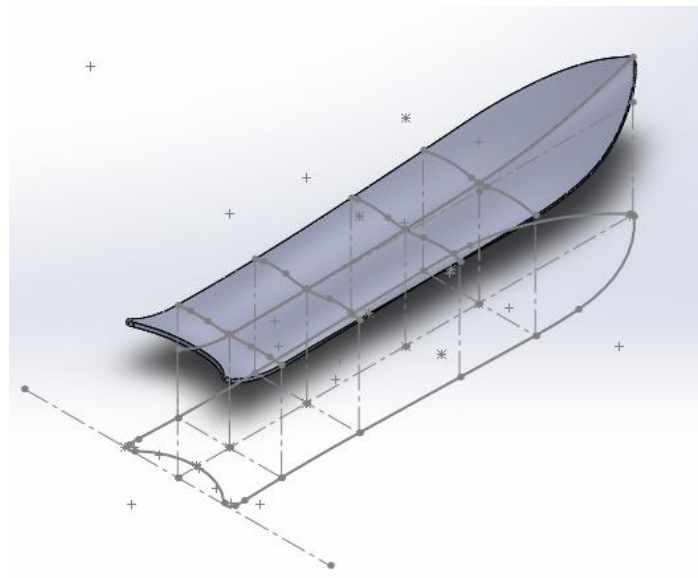


Figura 22. Superfície 3D generada amb les corbes guia i limitada amb el contorn de la projecció.

3.3. Selecció del mètode de fabricació

Com ja s'ha explicat a l'apartat de l'estudi dels diferents mètodes de fabricació, aquest ha resultat ser un camp més acotat del que s'esperava a priori. Avui en dia, l'homogeneïtat que presenta aquest producte pel que fa als materials emprats fa que tots els fabricants tinguin un procés de fabricació que es podria dir que segueix la mateixa pauta, diferint en tot cas en la fase de premsat.

Així doncs s'ha definit el següent procés de fabricació: a partir de diverses làmines de fusta, es conformarà el gruix total de la taula encolant-les entre elles; es procedirà a premsar-les contra un motlle, que serà el que definirà la forma tridimensional que adoptaran les làmines al reposar un cert temps dins de la premsa; posteriorment, quan el tauló de fusta resultant estigui deformat permanentment es procedirà a retallar-lo seguint el perfil dissenyat prèviament; per últim es polirà la fusta i se li aplicarà un tractament superficial per garantir un bon acabat. Tot aquest procés es pot veure representat en el diagrama següent.

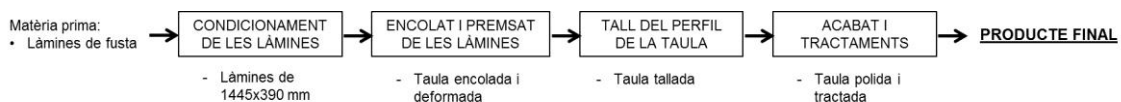


Figura 23. Diagrama 'flow chart' del procés de fabricació definit per al projecte.

Pel que fa al sistema de premsat, s'ha triat fer-ho mitjançant el buit. Degut a la seva facilitat d'ús, flexibilitat del procés, el seu cost assequible i el reduït volum que presenta després del seu emmagatzematge s'ha triat aquest sistema.

En aquest aspecte s'agraeix el consell rebut de part del Sergi Galanó, manager i *shaper* (terme pel que es coneix als fabricants artesans de taules de *surf*) de Flama Surf, un fabricant de taules de *surf* íntegrament de fusta (es pot visitar el seu web a www.flamasurf.com). En una visita a les seves instal·lacions a Premià de Mar es va poder veure el funcionament d'aquest tipus de premsat i la qualitat dels resultats obtinguts.



Figura 24. Imatge de Sergi Galanó amb alguns dels seus productes (font: ShaperCloud.com)..

3.3.1. Sistema de premsa al buit

El funcionament de les premses al buit es basa en l'extracció de l'aire de dins d'una bossa, mitjançant la qual s'exercirà pressió sobre el motlle i el cos a modelar situats en el seu interior. L'aire s'extreu de la bossa a través d'una vàlvula, fent servir una bomba de buit. Aquest tipus de premsat s'utilitza, per exemple, per modelar la fusta dels contorns laterals d'una caixa de guitarra.

A part de la simplicitat dels seus components, un altre avantatge que presenta enfront d'altres mètodes de premsat és que només requereix d'un motlle ja que la pressió serà exercida per la bossa de manera uniforme. A la *Figura 8* es pot veure el cas de la premsa pneumàtica, que requereix dos motlles: l'inferior i el superior. En el nostre cas, el motlle serà el positiu de la taula.

Es van considerar diferents opcions per a conformar la premsa, com la compra dels diversos components per separat, però al final es va optar per comprar un model prefabricat, comercialitzat per a la fabricació casolana de taules de *skateboard*.

3.3.2. Roarockit Thin Air Press Kit

Aquest ha estat, doncs, el sistema de premsat prefabricat que s'ha triat per a la fabricació del prototip, i consta dels següents components.



Figura 25. Imatge on es poden veure els diferents components d'aquest "kit" de premsat (font Roarockit.eu).

El component principal es una bossa de vinil de 2 mil·límetres de gruix, i de dimensions 101,6x203,2 centímetres. Al centre de la bossa hi ha situada una vàlvula, com es pot observar a la *Figura 25*. Això va acompanyat de dues cintes de pasta adhesiva aïllant, una bomba manual i una xarxa que s'utilitza per garantir la correcta extracció de l'aire, procurant que no es formin bombolles ni cavitats.

La pressió màxima que es pot assolir mitjançant aquest sistema de premsat és, teòricament, de 1 atmosfera (atm). El fabricant d'aquest *kit* estableix la pressió assolible amb la bomba manual en uns 14000 newtons (N) per a una superfície equivalent a una taula de *skateboard*. Considerant unes mesures estàndard (20x70 cm), aquestes taules poden tenir una superfície d'uns 0,14 m². Aquesta superfície amb els 14000 N mencionats anteriorment corresponen a una pressió aproximada de 100000 Pa, que equivalen a 0,987 atm. Es veu així doncs que, tot i que amb la bomba manual el procés d'extracció de l'aire serà més lent i costós, es pot assolir uns nivells de pressió equiparables amb els d'una bomba automàtica, sempre que se'n faci un bon ús, i per tant s'espera aconseguir un bon resultat.

3.4. Tria i adquisició de materials i eines

Després de definir el procés de fabricació i el sistema de premsat que es farà servir, va ser l'hora de triar i adquirir el material i les eines que s'utilitzaran en aquest projecte.

El material fonamental per a la fabricació de la taula és la fusta. Com s'ha comentat prèviament a les especificacions definides al disseny conceptual, una fusta a priori interessant és la fusta de bedoll, però a més d'aquesta es van contemplar altres opcions. A la visita al taller de *Flama Surf* es van trobar dues alternatives molt interessants.

Per una banda, la fusta de paulònia és una fusta semirígida, de duresa semblant al bedoll, que pot ser modelada amb pressió fàcilment. Si les làmines són de gruix considerable (al voltant de 5 mm) és convenient escalfar la fusta prèviament amb vapor d'aigua per a facilitar la seva deformació sense que es trenquin les fibres. La propietat més interessant d'aquesta fusta, però, és que és impermeable i permet, per exemple, ser usada per a conformar les capes externes d'una taula de *surf* sense requerir cap tractament superficial per al seu ús.

Per l'altra banda, va sorgir una fusta molt més popular: el bambú. Del bambú se'n destaca en part el bon acabat estètic que presenta, però sobretot la seva resistència a flexió totalment anisotròpica. Així doncs, en funció de l'orientació en que es disposin les vetes de bambú s'obtindrà un grau d'aquesta propietat o un altre. Amb les vetes orientades a 0° prenent com a referència l'eix longitudinal de la taula, s'obtindrà un valor màxim en direcció longitudinal i mínim en direcció transversal.

	Bedoll Europeu	Paulònia	Bambú
	<i>(European Birch)</i>	<i>(Paulownia)</i>	<i>(Bamboo)</i>
Densitat (kg/m³)	730	250 - 280	380 - 640
Mòdul de Young (GPa)	16,17	4,38	18 - 20
Mòdul de ruptura (MPa)	144	37,8	76 - 168,6

*Taula 12. Algunes dades característiques dels tres tipus de fusta esmentats
(font: MatWeb.com i Wood-Database.com)*

Finalment, pel que fa a la tria de la fusta, va sorgir una dificultat que no s'havia previst: l'escassetat d'aquests materials, especialment en lots de mides no comercials i d'unes dimensions semblants a les desitjades. Després d'una intensa recerca, la millor opció per adquirir la fusta va resultar ser una fusteria de Madrid que té botiga *online* (www.agullomaderas.com), especialitzada en xapes de fusta, taulons i material per a marqueteria.

Les dimensions de les làmines a la venta eren les següents: làmines de bedoll de 250x50 cm i de 1,5 mm de gruix; làmines de bambú de 250x43 cm i de 0,6 mm de gruix. Es van comprar 12 làmines de bedoll i 4 làmines de bambú. Així doncs, el gruix d'una taula estaria format per dues làmines de bambú i sis de bedoll, suposant un gruix total de 10,2 mil·límetres.



Figura 26. A la part de dalt les làmines de bambú, i a baix les de bedoll.

Per a la fabricació de la taula es van adquirir una sèrie d'eines, que s'enumeraran a continuació.



Figura 27. Totes les eines, enumerades a continuació.

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Espàtula | 9. Cutter |
| 2. Cinta adhesiva | 10. Regle |
| 3. Paper de vidre (60P) | 11. Goma d'esborrar |
| 4. Paper de vidre (120P) | 12. Raspadora per fusta |
| 5. Cinta mètrica de sastre | 13. Llapis |
| 6. Cinta adhesiva aïllant | 14. Tenalles |
| 7. Film de plàstic | 15. Regle de la caladora |
| 8. Serjants | 16. Serra caladora |

Pel que fa a la cola es va triar la cola especial per fusta *Titebond Ultimate III* de 3,8 litres, recomanada per *Roarockit*, el fabricant del sistema de premsa al buit, per a fer servir en aquest tipus de projectes. Al seu portal web disposen d'una aplicació que en funció de la superfície que s'ha d'encolar permet estimar el volum de cola que serà necessari. Per acabar es va comprar un vernís amb poliuretà, que és més resistent a ser rallat.



Figura 28. Imatge de la cola i el vernís comprats.

Per últim, per tal de poder dur a terme la fabricació del prototip era convenient fabricar un altre component essencial del projecte: el motlle. Per a tal cosa es va adquirir un bloc de fusta d'àlber (*poplar* en anglès) massís de dimensions 145x50x12 centímetres.



Figura 29. Imatge del bloc original d'àlber, del qual es va extreure la part usada per a fer el motlle. Aquest bloc massís mesurava 12 metres.

3.5. Disseny del motlle (CAD)

Per al disseny del motlle per ordinador es va seguir el mateix mètode que per al disseny de la taula. Partint del disseny d'aquesta, es van invertir les corbes guia i es va generar la superfície amb la curvatura resultant, que és el positiu de la taula prèviament dissenyada. Es va afegir un cert marge pels costats, per davant i per darrere, tenint en compte que al moment de fabricar la taula les làmines seran lleugerament més grans que aquesta per a garantir que s'omple tota la curvatura del motlle.

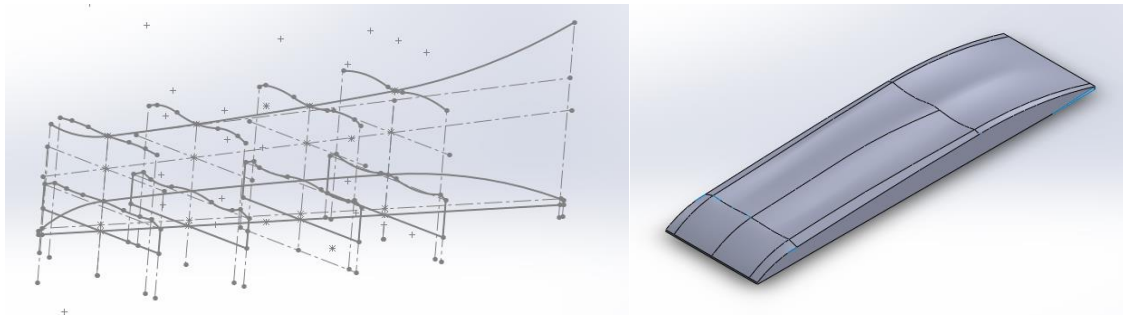


Figura 30. A l'esquerra el resultat d'invertir el corbes guia de la taula, a la dreta el disseny del motlle finalitzat.

4. Fabricació del prototip

4.1. Fabricació del motlle

Per a la fabricació del motlle es van subcontractar els serveis d'*Atta33*, un taller ubicat a Barcelona, al barri del Poblenou. Aquest taller disposa de maquinària de mecanitzat per control numèric, la qual garanteix uns resultats de fabricació excel·lents a partir del disseny del motlle realitzat per ordinador (CAD).

El primer pas va ser rebaixar les mides del bloc de fusta d'àlber, que eren lleugerament superiors a les del motlle, a les mides de planta desitjades: 1430x385 mm. Després es va planificar la cara del bloc que esdevindria la base del motlle, per garantir que fos una superfície uniforme.



Figura 31. Imatge on es pot veure el bloc d'àlber a punt de ser tallat en un banc amb serra circular.

Posteriorment es va procedir a programar la fresadora CNC (TEC-CAM 3204), la qual realitzaria dues operacions de fresat. La primera, de desbast, amb una fresa cilíndrica de 25 mm de diàmetre i una profunditat de passada de 10 mm. La segona, d'acabat, amb una fresa esfèrica de 20 mm de diàmetre i profunditat de passada de 2 mm, amb superposició de passes a cada 20% del diàmetre de la fresa.

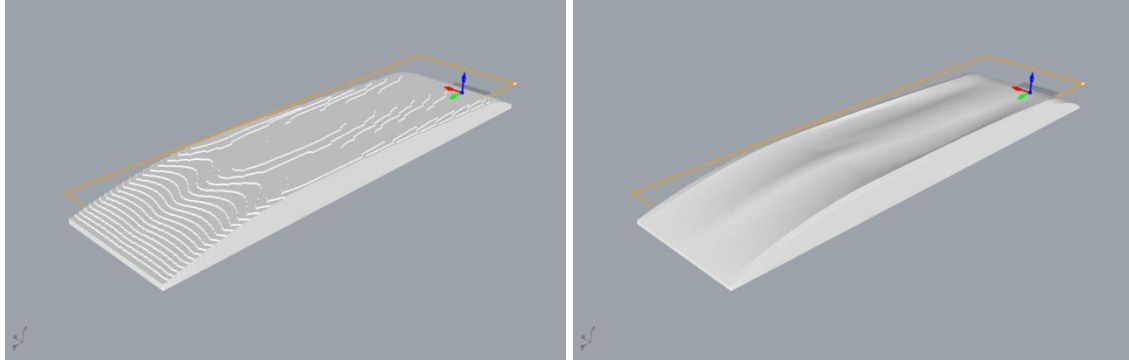


Figura 32. Previsualitzacions de les operacions de fresat. A l'esquerra de desbast, a la dreta d'acabat.

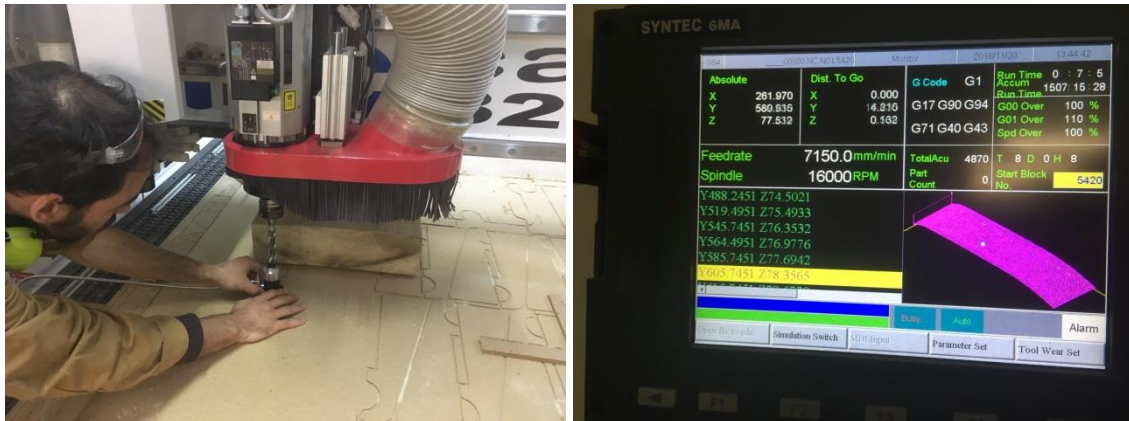




Figura 35. Imatge del motlle obtingut per fresat, junt amb dos rotllos de paper de vidre.

Per acabar, es van emprar dos tipus de paper de vidre amb mida de gra diferent per a polir la superfície del motlle. El primer, més erosiu, amb una mida de gra de 60P, i el segon de 120P per donar-li un bon acabat.

4.2. Fabricació de la taula

Ja amb tots els materials i eines necessaris adquirits i el motlle fabricat, era el moment d'iniciar la fabricació del prototip. Tot el procés, definit anteriorment, es va dur a terme al garatge de la casa de la família, al poble de Sant Vicenç de Montalt, al Maresme, i no es va fer servir res més que les eines ja descrites.

Com ja s'ha comentat, en el projecte sempre s'ha contemplat la fabricació de dos exemplars de taula de *powdersurf*: un que serviria per a fer l'assaig a flexió i comparar els resultats amb els càlculs numèrics i la simulació per elements finits, i l'altre per conservar-lo com a producte plenament funcional, amb la intenció de fer-lo servir més enllà de tenir-lo com a record.

En tot projecte, però, s'ha de tenir cura d'un aspecte sempre important: el pressupost, i per consegüent, la màxima utilització dels recursos disponibles. En el moment d'adquirir les làmines de fusta va sorgir l'inconvenient de la dificultat de trobar-ne de les mides desitjades, doncs unes dimensions de 1445x390 mm no són gens comercials per aquest tipus de producte. Finalment es va optar per comprar de 2500x500 mm, la qual cosa va suposar un nou inconvenient: l'excés de material excedent. Va ser en aquest moment quan aquest inconvenient es va veure com una oportunitat.

El fet va ser que, amb anterioritat a la fabricació del prototip, ja s'havien realitzat dos assajos a flexió al laboratori de la universitat, així com la simulació pel mètode dels elements finits (s'explicaran a continuació) i, per tant, ja estaven establertes certes especificacions de l'assaig del prototip que es realitzaria més endavant.

Bàsicament, la llum establerta per assajar la taula era de 770 mil·límetres. Enfront d'un excedent de material de poc més d'un metre de llarg, va sorgir la possibilitat d'utilitzar precisament aquest excedent com a peça d'assaig. Per a tal cosa se seguiria el mateix procés de fabricació que per la taula però amb la finalitat d'obtenir la part corresponent al seu cos central, obviat el *nose* i el *tail*. Aquesta part central seria suficient per a realitzar l'assaig a flexió, assaig que interessava que fos destructiu, solucionant el problema del material excedent i permetent usar el segon conjunt de làmines per a fabricar una segona taula funcional enlloc de destruir-la.

Per començar, es van tallar les làmines de bedoll i de bambú a les mides adients, descartant l'excedent inservible i apartant l'excedent que s'empraria per a la fabricació de la peça d'assaig.



Figura 36. Imatge on es poden veure les làmines de fusta abans de ser tallades.

Després es van encolar aquestes làmines, per totes les cares menys les dues que resultarien ser les cares exteriors de la taula, de manera que quedessin les sis làmines de bedoll en el centre compreses per les dues de bambú, una a dalt i l'altre a baix.



Figura 37. Fase d'encolat de les làmines.

Un cop encolat tocava passar a la fase de premsat. Es va col·locar el conjunt de làmines dins de la bossa de la premsa, just a sobre del motlle, i es va procedir a extreure l'aire de la bossa estanca fins assolir el buit. Prèviament s'havia cobert el motlle de fusta amb un film de plàstic per a protegir-lo de la cola que encara estava humida i podia vessar. Es va deixar reposar les làmines dins la bossa un temps aproximat de 16 hores, revisant periòdicament la pressió de la premsa.



Figura 38. Aquí es pot observar la premsa en funcionament, amb les làmines de fusta deformades en el seu interior.

A l'endemà, un cop la cola ja estava ben seca i la deformació de la fusta era permanent, es va extreure el tauló de la premsa per a dibuixar-hi el perfil de la taula, perfil pel qual s'hauria de tallar tot seguit.



Figura 39. Tauló extret de la premsa. Es pot veure clarament la deformació patida per la fusta.

Després de tallar el tauló es va polir la seva superfície, eliminant així petites estelles existents i proporcionant un acabat més suau, adient per al posterior vernissatge.



Figura 40. A l'esquerra: la taula amb el perfil recent tallat, prèviament a arrodonir les sever vores i polir les superfícies. A la dreta: part corresponent al cos central de la taula, fabricat amb el material excedent.

Tot aquest procés, fins abans de la fase d'acabat, es va repetir amb l'excedent de material ja mencionat per tal de fabricar la part central de la taula que s'utilitzaria com a peça d'assaig, part que es pot veure a la *Figura 40*.

Per acabar, després de polir les superfícies i les vores de la taula, se li van aplicar diverses capes de vernís, finalitzant amb això el procés de fabricació de la taula.



Figura 41. Aspecte final de la taula, després de l'acabat superficial.

5. Estudi del comportament mecànic

Després d'haver fabricat el prototip va ser el moment de comprovar el seu comportament mecànic.

Per començar, es van planificar una sèrie d'assajos al laboratori per a mesurar la qualitat constructiva i material del prototip, assajant el mateix prototip i dos productes semblants fabricats industrialment. Amb el prototip es faria un assaig virtual pel mètode dels elements finits i posteriorment un assaig real a flexió fins la fallida de la taula. Com ja s'ha explicat en aquest document, per a fer l'assaig real s'utilitzaria una rèplica del cos central de la taula, fabricada amb el material excedent. Abans de qualsevol assaig del prototip, però, es durien a terme dos assajos a flexió més: un amb una taula de *skateboard* i un altre amb una taula de *snowboard*. El propòsit d'aquests assajos és obtenir informació sobre aquests productes, amb els quals el prototip té una considerable semblança tant funcional com física, i poder comparar els resultats obtinguts amb els del prototip.

Més endavant, si les condicions ho permeten, serà de molt interès dur a terme una prova empírica del funcionament de la taula. Això vol dir fer-la servir en una situació real. El inconvenient, però, és que per aquesta última fase es depèn de les condicions climatològiques, i és per això que tot i que s'espera poder-la dur a terme no se sap del tot cert si es podrà realitzar abans de l'entrega de la memòria del projecte. Si no fos així, es faria la prova per abans de la defensa del treball.

5.1. Primers assajos a flexió

Els assajos a flexió es van dur a terme al laboratori del departament de Resistència de Materials de l'ETSEIB, supervisats pel professor Francesc J. Garcia Rabella.

5.1.1. Taula de *skateboard*

- **Objectiu de l'assaig**

La taula de *skateboard* és un producte que té molta similitud amb el prototip pel que fa al procés constructiu i els materials emprats. Així doncs, l'objectiu d'aquest primer assaig és obtenir uns resultats amb els quals poder comparar els del prototip, i d'aquesta manera avaluar la seva qualitat de fabricació així com les possibles diferències resultants degudes a les característiques dels materials usats o a la geometria.

- **Preparació de l'assaig**

A continuació es mostra un diagrama de blocs representatiu del funcionament de l'assaig:

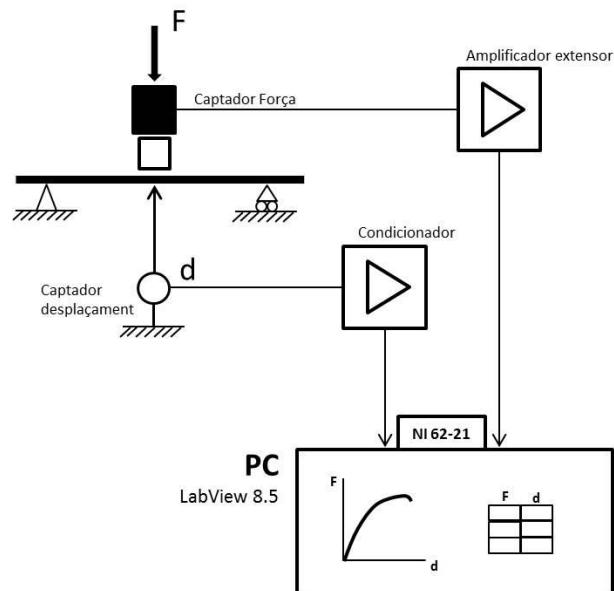


Figura 42. Diagrama de blocs del muntatge per l'assaig.

Per al muntatge de l'assaig, es poden observar a les *Figures 43 i 44* les diferents parts de la maquinària emprada. Aquestes parts s'enumeren tot seguit:

1. Marc de càrrega.
2. Pistó hidràulic de doble efecte (100 kN): l'entrada d'oli al pistó es produeix pel conducte superior, sent el inferior el conducte de recirculació.
3. Captador de força *AEP Transducers* (500 kg capacitat de càrrega màxima): calibrat al juliol de 2018.
4. Ròtula esfèrica.
5. Barra rectangular per a la repartició de la càrrega.
6. Plaques de neoprè per a garantir el contacte en tota l'amplada de la taula.
7. Sensor de desplaçament *Novo Technik TRS075* (75 mm de recorregut) potenciomètric-resistiu: calibrat al juliol de 2018.
8. Mitges canyes cilíndriques per a garantir uns punts de suport correctes.
9. Bancades.
10. Monitor per visualitzar els resultats obtinguts.
11. Condicionador del senyal de desplaçament (+5V).
12. Amplificador d'extensometria *Hottinger Baldwin Messatechnik MGC Plus*.

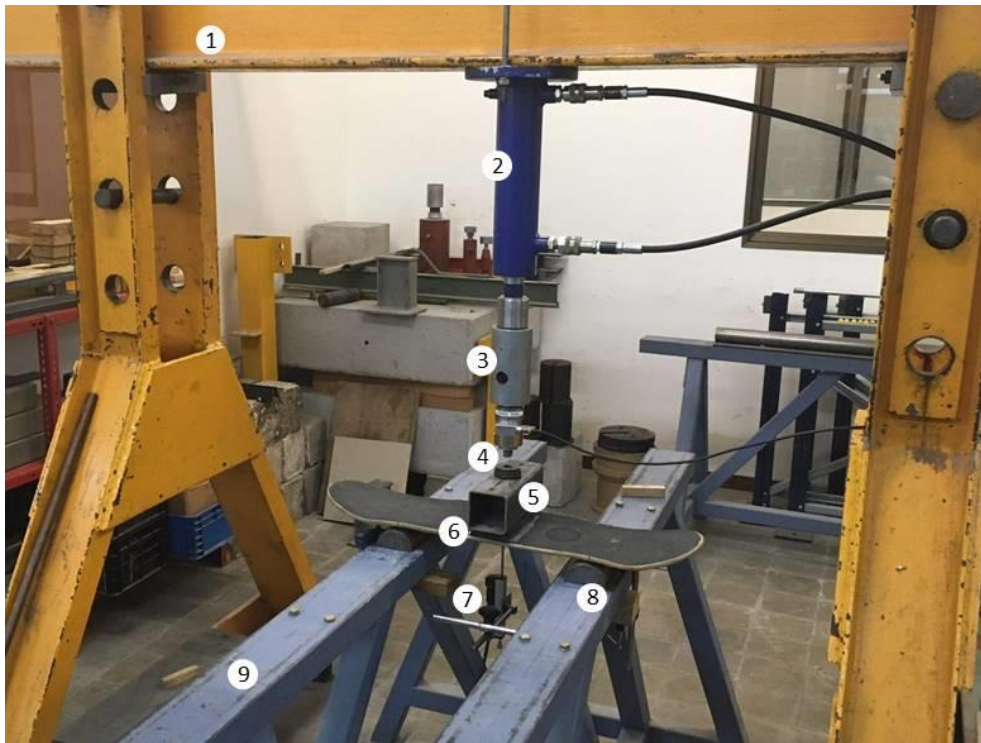


Figura 43. Imatge on es poden observar els diferents components emprats per l'assaig, en aquest cas de la taula de 'skateboard'.



Figura 44. Imatge on es poden observar els diferents components del sistema d'adquisició de dades.

- **Condicions de l'assaig**

El primer assaig a flexió es va dur a terme amb les següents condicions:

- **Assaig amb dos punts de recolzament:** la llum definida en aquest cas va ser de $L = 40 \text{ cm}$, i cada punt de recolzament es va situar a una distància de $L/2$ del centre de la taula.
- **Càrrega repartida:** s'emprarà una barra rectangular amb la fi de garantir que la càrrega aplicada no sigui puntual, i el punt d'aplicació d'aquesta serà el centre de la taula.
- **Assaig destructiu:** es carregarà la taula fins a la seva fallida.

- **Resultats de l'assaig**

Un cop assajada la taula de *skateboard*, es van obtenir els resultats de la gràfica següent:

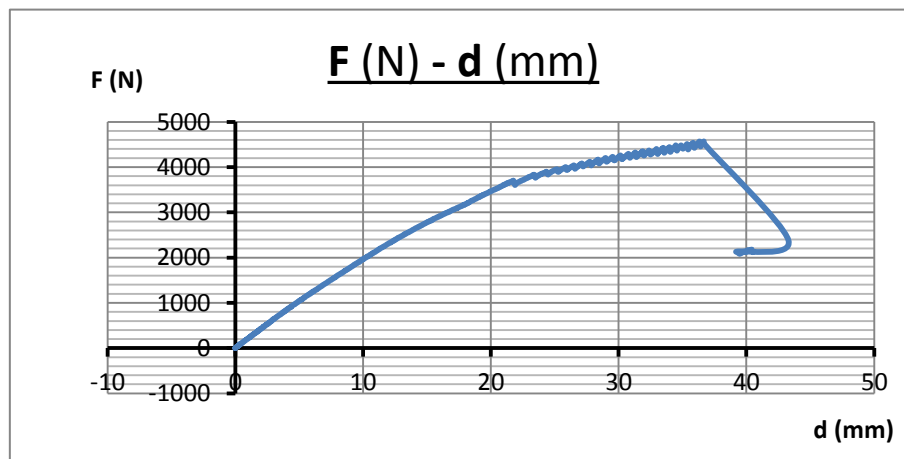


Figura 45. Gràfica Força (N) – Desplaçament (mm) de l'assaig de la taula de 'skateboard'.

En el gràfic es pot apreciar perfectament com va augmentant la fletxa (desplaçament del punt central de la taula) en funció de la força aplicada. La relació entre aquestes dues pràcticament es manté constant, doncs el tram inicial de la corba es podria aproximar amb una recta. Es pot apreciar també que, en un cert punt, apareixen uns petits dents a la corba. Això és degut al trencament de les fibres de fusta. Cal recordar que les taules de *skateboard* són fabricades a partir diverses làmines de fusta, seguint el mateix procediment que s'ha emprat en el projecte per a la confecció del prototip, i això pot haver ocasionat que certes làmines trenquessin abans que les altres.

Les dades obtingudes situen el punt de càrrega màxima, abans de la fallida, en una força de $F = 3702,87 \text{ N}$ i una fletxa de $d = 21,77 \text{ mm}$.

Per analitzar les dades s'ha dut a terme un estudi teòric simplificat, tractant l'assaig com si es tractés d'una biga prismàtica amb dos punts de recolzament.

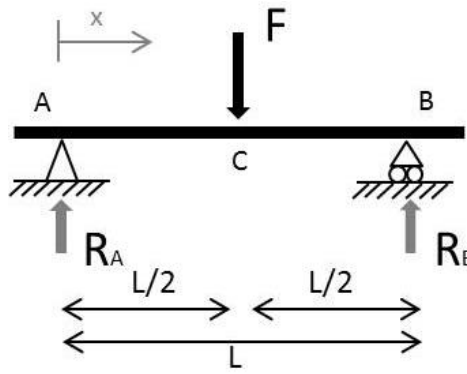


Figura 46. Representació d'un cas de flexió d'una biga amb dos punts de recolzament i amb càrrega puntual central.

Considerant aquesta situació, el moment flector màxim es produirà en el centre de la taula (punt C) a raó de l'equació 1:

$$M_z(x = C) = R_A \cdot x = R_A \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{eq. 1})$$

Per a trobar el moment d'inèrcia de la taula de *skateboard* es varen prendre mesures de la seva secció, i mitjançant el *software* de CAD es van obtenir les dades desitjades.

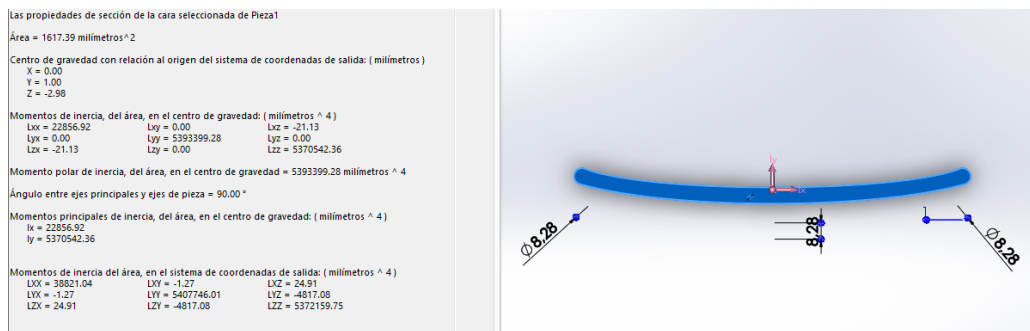


Figura 47. Dades de la secció central de la taula de 'skateboard'

Per un cas de flexió simple, s'utilitza la següent equació per a trobar la màxima tensió normal:

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y \quad (\text{eq. 2})$$

La tensió normal màxima es produirà a la superfície inferior de la taula, allà on el valor de y és màxim (amb signe negatiu). Gràcies a les dades obtingudes de la secció, s'ha ubicat el centre de gravetat i per tant, s'ha trobat el valor de $y = 7,12 \text{ mm}$ i de $I_z = 22856,92 \text{ mm}^4$. Coneixent aquests valors i els de $L = 400 \text{ mm}$ i el de la màxima càrrega suportada ($F = 3702,87 \text{ N}$), s'han emprat les equacions 1 i 2 per trobar el valor de la tensió normal màxima a tracció.

$$M_z\left(x = \frac{L}{2}\right) = R_A \cdot \frac{L}{2} = \frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2} = 370287 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\sigma_{x,\max} = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y = 115,34 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eq. 2})$$

S'ha pogut comprovar a l'assaig com, efectivament, la taula ha trencat pel seu punt mig de la superfície inferior, com es pot veure a la *Figura 48*.



Figura 48. Imatge on es pot veure la taula ja trencada.

Un altre punt interessant per analitzar ha estat el de trobar el mòdul de Young de la taula per a poder-lo comparar amb una base de dades *online* que recull informació sobre tot tipus de fusta. Usant l'equació de la fletxa d'una biga s'ha aïllat el mòdul de Young per a dos punts força-desplaçament diferents.

- **Equació de la fletxa (d):** $d = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$ (eq. 3)
- **Punts:**
 - (1) $F = 700,84 \text{ N}$; $d = 3,29 \text{ mm}$
 - (2) $F = 1501,87 \text{ N}$; $d = 7,46 \text{ mm}$

Aplicant l'equació 3 en els dos punts s'han trobat dos valors del mòdul de Young lleugerament diferents. El seu valor mitjà és $E = 12085,18 \text{ N/mm}^2$.

Així doncs, els resultats obtinguts d'aquest assaig es veuen recollits tot seguit:

	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)
Per a punt de fallida	SKATEBOARD
Càrrega (F)	3702,87 N
Fletxa (d)	21,77 mm
Tensió normal ($\sigma_{x,max}$)	115,34 MPa
Mòdul de Young (E)	12085,18 MPa

Taula 13. Resultats de l'assaig de la taula de 'skateboard'.

5.1.2. Taula de *snowboard*

- **Objectiu de l'assaig**

La similitud que existeix entre una taula de *snowboard* i una de *powdersurf* és el seu entorn d'ús: la neu. Així doncs, salvant les diferències existents entre els dos pel que fa a l'ús de fixacions (explicat anteriorment en aquest treball), es pretén comparar el diferent comportament que pot tenir una taula fabricada industrialment amb materials majoritàriament sintètics al d'una taula totalment fabricada amb fusta.

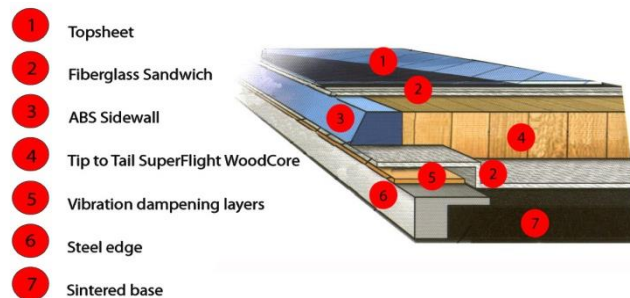


Figura 49. Representació de la construcció d'una taula de '*snowboard*'. (1) Capa superior sintètica. (2) 'Sandwich' de fibra de vidre. (3) Paret lateral d'ABS. (4) Nucli de fusta de punta a punta. (5) Capes reductores de vibració. (6) Vores metàl·liques. (7) Base sinteritzada de HMPE. (font: AllStarActivities.com)

- **Preparació de l'assaig**

La preparació del segon assaig ha sigut pràcticament igual a la del primer. Les úniques modificacions que s'ha hagut de fer han estat el valor de la distància entre els punts de recolzament a $L = 890 \text{ mm}$ i el captador de desplaçament. Sabent que es tracta d'un producte més flexible s'ha emprat un captador amb 100 mm de recorregut i, per tant, s'ha hagut de tornar a calibrar el sistema.



Figura 50. Muntatge de l'assaig de la taula de '*snowboard*'.

- **Condicions de l'assaig**

Les condicions s'han mantingut iguals, obtenint els següents resultats.

- **Resultats de l'assaig**

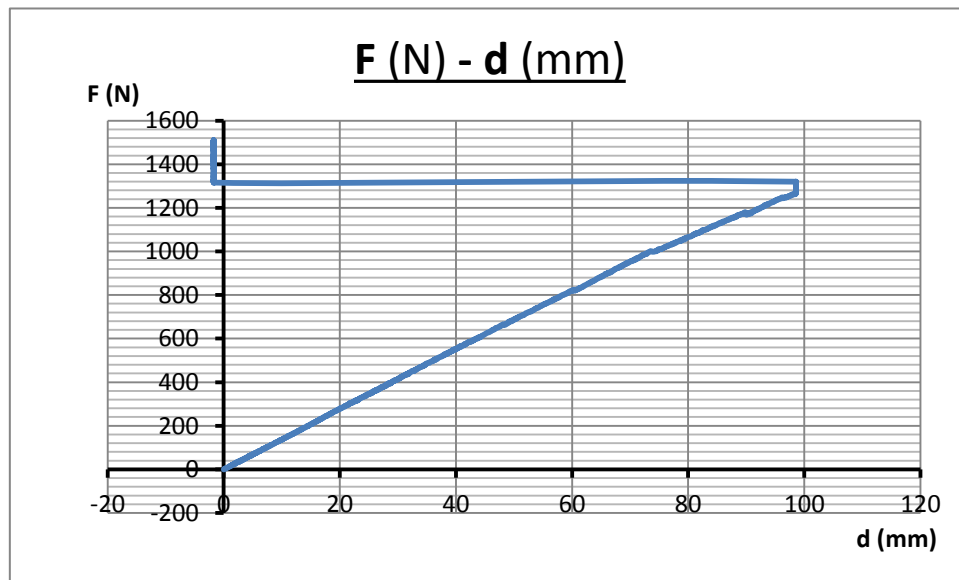


Figura 51. Gràfica Força (N) – Desplaçament (mm) de la taula de 'snowboard'.

Com es pot veure a la *Figura 51*, la taula de *snowboard* va assolir uns valors de desplaçament molt superiors als de la taula de *skateboard*, considerant un mateix valor per a la força, fent evident la seva flexibilitat. Aquesta va ser de tal magnitud, però, que es va acabar exhaustint el recorregut del captador de desplaçament, que es va haver de desmuntar. Es pot veure al gràfic com el valor de *d* torna sobtadament a zero, mentre la força continua augmentant. La qüestió és que en aquest assaig no es va poder portar el producte fins la fallida, doncs el pistó hidràulic va acabar arribant també al seu valor màxim.

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de Pieza2

Área = 2141.09 milímetros²

Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: (milímetros)

X = 0.00
Y = 1.00
Z = 0.01

Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros⁴)

Lxx = 13738.36 Lxy = 0.00 Lxz = 0.00
Lyx = 0.00 Lyy = 10637119.75 Lyz = 0.00
Lzx = 0.00 Lzy = 0.00 Lzz = 10623381.39

Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 10637119.75 milímetros⁴

Ángulo entre ejes principales y ejes de pieza = 90.00 °

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros⁴)

Ix = 13738.36
Iy = 10623381.39

Momentos de inercia del área, en el sistema de coordenadas de salida: (milímetros⁴)

LXX = 15879.76 LXY = 0.00 LXZ = 0.00
LYX = 0.00 LYY = 10637120.05 LYZ = 25.67
LZX = 0.00 LZY = 25.67 LZZ = 10625522.48

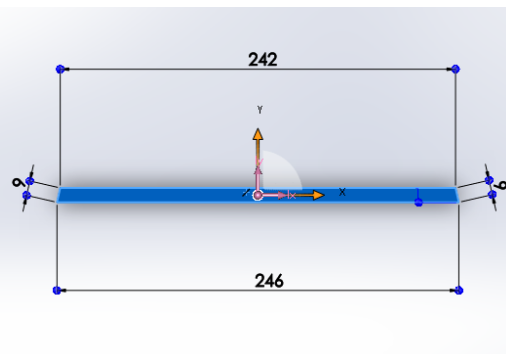


Figura 52. Dades de la secció central de la taula de 'snowboard'.

Per a obtenir les dades característiques de la seva secció també s'ha emprat el *SolidWorks*.

Considerant el mateix cas d'una biga amb dos punts de recolzament i usant les equacions 1 i 2 descrites anteriorment pels valors $L = 890 \text{ mm}$, $y = 4,39 \text{ mm}$, $I_z = 13738,36 \text{ mm}^4$ i $F = 1000 \text{ N}$ s'ha obtingut els valors de tensió: $\sigma_x = 71,06 \text{ MPa}$. El valor pres per F no és el de la càrrega de fallida sinó un valor amb el que es pugui comparar amb l'assaig del prototip a posteriori.

Mitjançant les dades obtingudes de l'assaig i considerant el valor de F mencionat abans, s'ha determinat el valor de la fletxa (d) i del mòdul de Young mitjà (a partir de varies mesures) tenint en compte tots els materials que componen la taula. Aquests han estat els següents: $d = 74,27 \text{ mm}$ i $E = 14592,35 \text{ MPa}$.

Els valors obtinguts d'aquest assaig es mostren a continuació:

	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (no destructiu)
Per a $F = 1000 \text{ N}$	SNOWBOARD
Càrrega (F)	1000 N
Fletxa (d)	74,27 mm
Tensió normal (σ_x)	71,06 MPa
Mòdul de Young (E)	14592,35 MPa

Taula 14. Resultats de l'assaig de la taula de 'snowboard'.

5.2. Estudi pel mètode dels elements finits

Posteriorment a la fase de disseny detallat del prototip i prèviament a la fase de fabricació d'aquest, es va dur a terme un assaig del comportament mecànic de la taula de manera virtual, emprant el *software* analític *ANSYS Workbench 14.5*.

- **Objectius de l'assaig**

Els objectius d'aquest estudi són, per una banda, obtenir uns resultats amb els quals poder comparar l'assaig real del prototip i, per l'altra banda, disposar d'un mitjà amb el qual es pugui realitzar molts altres assajos sense la necessitat de fabricar i destruir un prototip en cada cas, permetent ajustar les dades introduïdes al programa sempre que sigui necessari.

Partint de la geometria de la taula definida mitjançant *SolidWorks*, es varen fer algunes modificacions abans d'importar-la a l'*ANSYS*. Com que es volia fer un assaig el més semblant possible al que es faria posteriorment al laboratori, es van incorporar al disseny CAD certs elements auxiliars, com les mitges canyes cilíndriques per a ser els punts de recolzament i una barra rectangular per aplicar la càrrega de manera repartida.

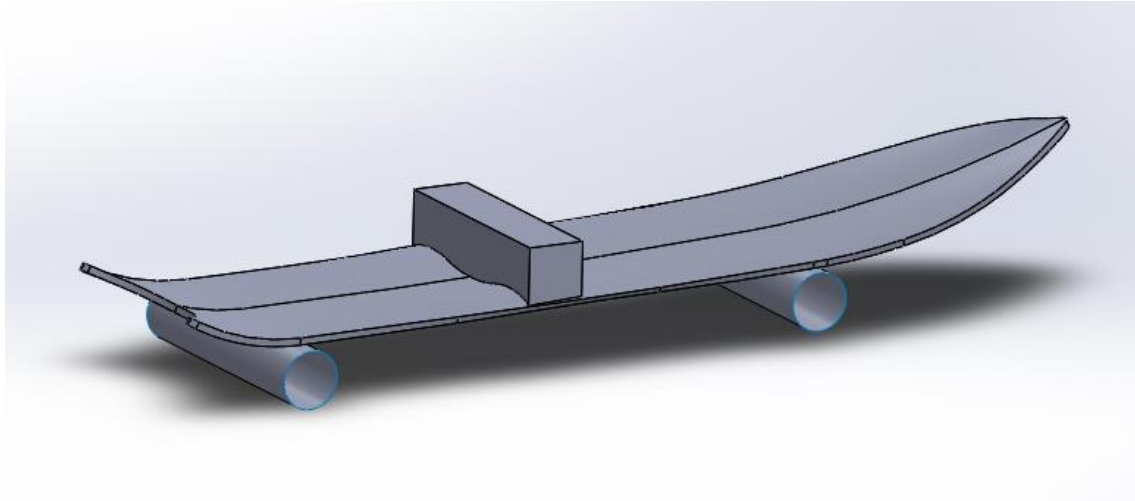


Figura 53. Imatge del CAD emprat per a la simulació virtual.

- **Simplificacions prèvies**

Prèviament a l'inici de la simulació, i per a simplificar els càlculs, s'ha fet una modificació. Inicialment, el CAD de la taula disposava de totes i cada una de les làmines de fusta, amb el seu gruix pertinent, però a l'hora de realitzar la simulació això va suposar un problema afegit. Més enllà de definir de quin material estava feta cada regió de la peça, calia definir totes les condicions de contacte entre superfícies i cossos contigus. Va ser en aquest punt que, degut a la concavitat tridimensional que presenta el cos de la taula, hi havia superfícies que intersecaven i això provocava que el programa informàtic se saturés.

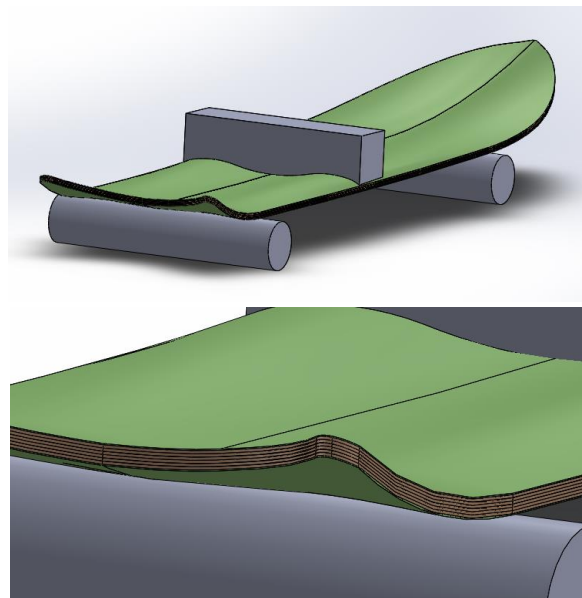


Figura 54. Imatge del CAD inicial. A baix es poden observar les diferents làmines, sent les marrons les de bedoll i les verdes les de bambú.

Així doncs, es va decidir fer el cos de la taula d'una sola peça (sense làmines), i per a les propietats de la taula es van obtenir uns valors ponderats a partir de les propietats de les diferents làmines de fusta (extretes de la base de dades del programa).

Va ser més endavant, però, un cop ja realitzat l'assaig del prototip, que es va veure que els valors assignats a les propietats físiques de la taula no s'aproximaven gaire als valors reals, doncs els resultats obtinguts mitjançant els dos estudis diferien considerablement. Per exemple, amb la primera simulació es va preveure una fletxa de 8 mm per a una càrrega de 1500 N, mentre que a l'assaig real la fletxa obtinguda per a una càrrega equivalent va ser de 18 mm, una mica més del doble.

És per aquest motiu que l'estudi analític mostrat a continuació es farà amb els valors de les característiques materials ajustats, extrets de l'assaig real emprant el mateix mètode que s'ha emprat en l'assaig de la taula de *skateboard* per a deduir el seu mòdul de Young.

El procediment de l'assaig a flexió del prototip, així com l'obtenció de dites dades s'explicarà en el proper apartat.

- **Tipus de simulació i assignació dels materials**

Es va definir el tipus de simulació com a *Static Structural* (anàlisi estructural estàtic). El primer pas va ser seleccionar tots els materials que s'utilitzarien en la simulació. Com ja s'ha comentat, es van definir les propietats mecàniques de la taula a partir de l'assaig real, propietats com el mòdul de Young, el límit elàstic, etcètera. Per als cossos auxiliars (els dos cilindres i la barra) es va definir el seu material com acer estructural, present a la base de dades del propi programa (*Structural Steel*). Posteriorment es va importar la geometria del CAD, i usant l'aplicació *Mechanical* inclosa en l'*ANSYS* es va assignar a cada cos el seu material.

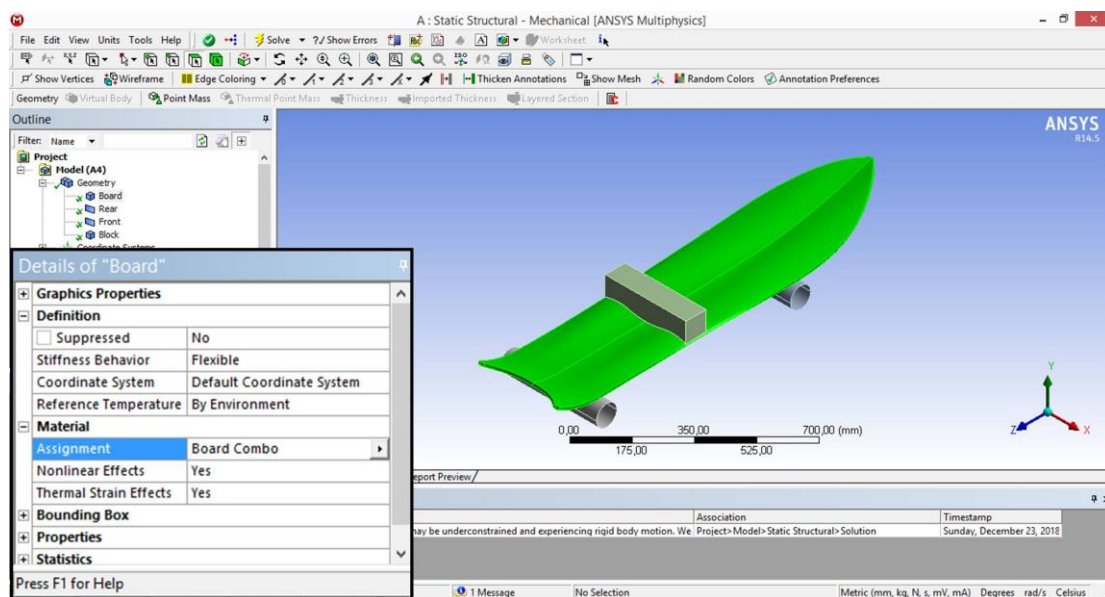


Figura 55. Interfície de l'aplicació *Mechanical* d'*ANSYS*. L'ampliació de la cantonada inferior esquerra permet veure la finestra d'assignació de material.

- **Tipus de contacte entre cossos**

En aquesta simulació es poden diferenciar dos contactes per separat: el contacte entre la barra i la taula i el contacte entre la taula i els suports cilíndrics. Per a definir el tipus de contacte entre dues superfícies de dos cossos diferents es va haver d'establir primer quina serà la superfície *contact* i quina serà la superfície *target*.

- **Superfície *contact*:** és aquella que efectua el contacte sobre l'altra superfície. Per exemple, si un cos en moviment s'aproxima a un cos fixe fins tocar-lo, serà el primer el qual es definirà com a *contact*.
- **Superfície *target*:** és la que pateix el contacte. Usant l'exemple ja mencionat, en aquest cas serà el cos fixe el qual es definirà com a *target* (el terme anglès "*target*" vol dir "diana" o "objectiu" d'una acció).

Després d'això, es va definir el tipus de contacte, dels quals n'hi ha més d'un, que ja s'explicaran més endavant segons convingui.

En el cas del contacte entre la barra rectangular i la taula, com que és la barra la que pateix la càrrega en primera instància i la qual transfereix aquesta càrrega a la taula, es va definir la superfície de la barra com a superfície *contact*, sent la cara superior de la taula la superfície *target*.

El tipus de contacte entre aquests dos cossos es va definir com a tipus *Frictional*, terme que en anglès vol dir "amb fricció". Se li ha assignat un coeficient de fregament de 0,5 tot i que a efectes pràctics no tindrà cap influència, doncs es restringirà el moviment de la barra a la direcció vertical, com s'explicarà més endavant, de manera que la barra no podrà lliscar per sobre de la taula.

Pel que fa al segon contacte, com que els cilindres seran els suports de l'assaig i seran fixes, s'ha definit la superfície inferior de la taula com a superfície *contact* i cilindres com a superfícies *target*.

En aquest cas, després de nombroses proves i errors, es va definir el contacte com a tipus *Frictional* (amb fricció), amb un coeficient de fregament prou petit com per que no influís en la flexió de la taula.

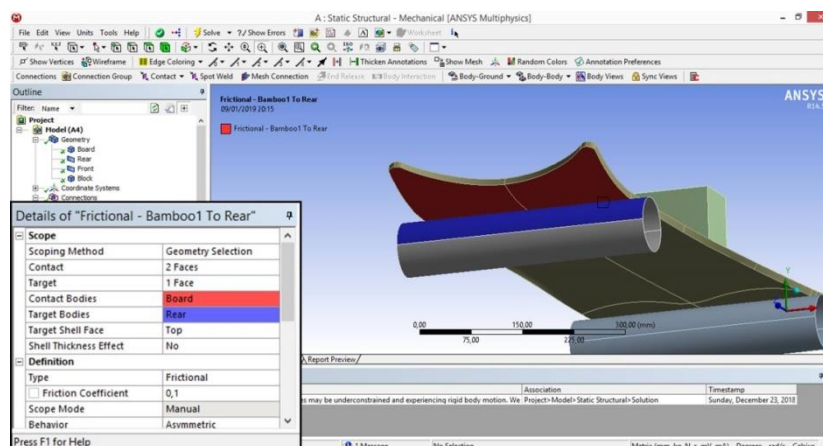


Figura 56. Interfície de l'aplicació Mechanical d'ANSYS. Es pot veure la superfície 'contact' (de color vermell) i 'target' (de color blau) en el cas del contacte entre la taula i els cilindres.

- **Mallat**

Per a l'operació de mallat de la taula es va fer servir l'eina del programa *Automesh*, que fa un mallat automàticament tenint en compte les especificacions introduïdes al programa anteriorment, com la geometria i els tipus de contacte. Pel que fa als sòlids auxiliars, es va fer un mallat tipus *Mapped* (mapejat) triant una mida dels elements tal que reduís el nombre d'aquests per a simplificar els càlculs però sense sacrificar resolució.

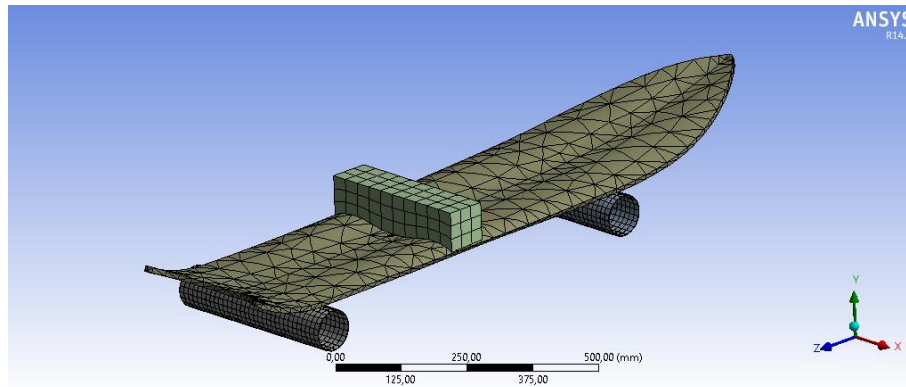


Figura 57. Imatge on es pot veure la figura de la taula i els cossos auxiliars després de fer el mallat.

- **Condicions de contorn**

Quan s'estableixen les condicions de contorn de la simulació cal definir, per una banda, totes les càrregues existents i, per l'altra, les restriccions de moviment dels diferents cossos.

Com s'ha mencionat anteriorment, la barra rectangular és el sòlid a sobre del qual s'aplicarà la càrrega. Per a aquesta simulació s'ha aplicat una càrrega de 1500 N repartida uniformement en la cara superior de la barra. Com la pressió que patirà està definida en direcció vertical, aquesta es traduirà en un desplaçament de la barra en la mateixa direcció. Per tant, s'ha aplicat una restricció de desplaçament en les direccions X i Z (es pot veure la terna d'eixos de referència a la *Figura 58*).

Pel que fa als suports cilíndrics se'ls ha aplicat la condició de *Fixed Support* (suport fixe), que és equivalent a restringir el desplaçament en les tres direccions.

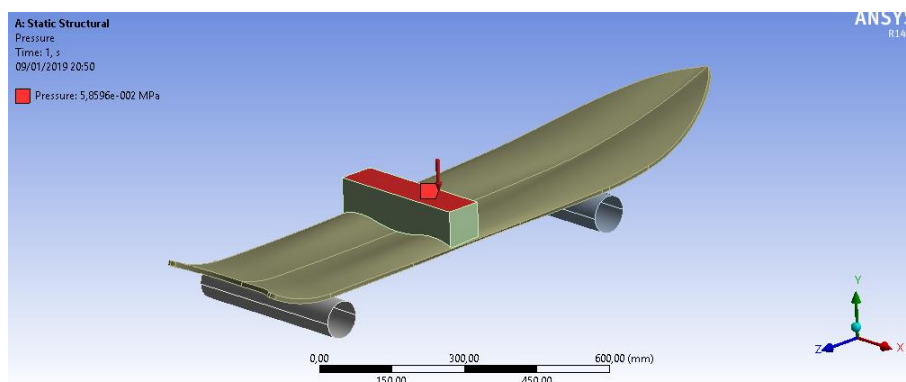


Figura 58. Imatge on es pot veure la càrrega aplicada sobre la barra, la seva direcció i sentit.

- **Resultats de la simulació**

La simulació es va concloure amb l'obtenció dels resultats. La finalitat d'aquests resultats és la de poder-los comparar amb els resultats obtinguts experimentalment. Per aquest motiu s'ha volgut analitzar la fletxa de la taula, així com la deformació que pateix, i s'han volgut localitzar els punts de tensió màxima, així com els seus valors, per tal de tractar de predir per quin punt trencarà el prototip al ser assajat.

Al programa es van definir dos tipus de solucions: un de *Directional Deformation* (deformació direccional), assignada a la direcció vertical (eix Y) per analitzar la fletxa, i un de *Normal Stress* (esforç normal) per a trobar el punt on el valor d'aquest assoleix el seu màxim.

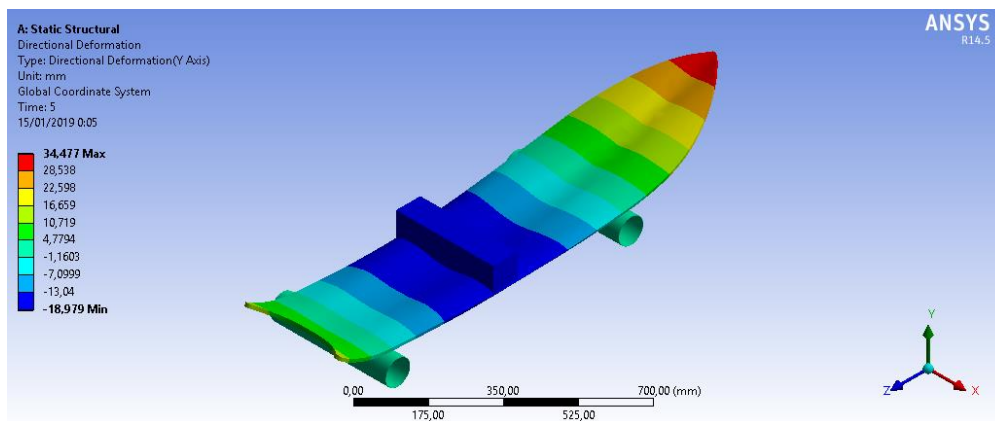


Figura 59. Vista isomètrica de la deformació en direcció Y, amb la llegenda a l'esquerra (valors en mm).

Com es pot veure a la *Figura 59*, el valor màxim de la fletxa de la taula sotmesa a una càrrega de $F = 1500 \text{ N}$ és de $d = 18,979 \text{ mm}$, i es troba en el centre del seu cos, punt equidistant dels dos punts de contacte amb els suports.

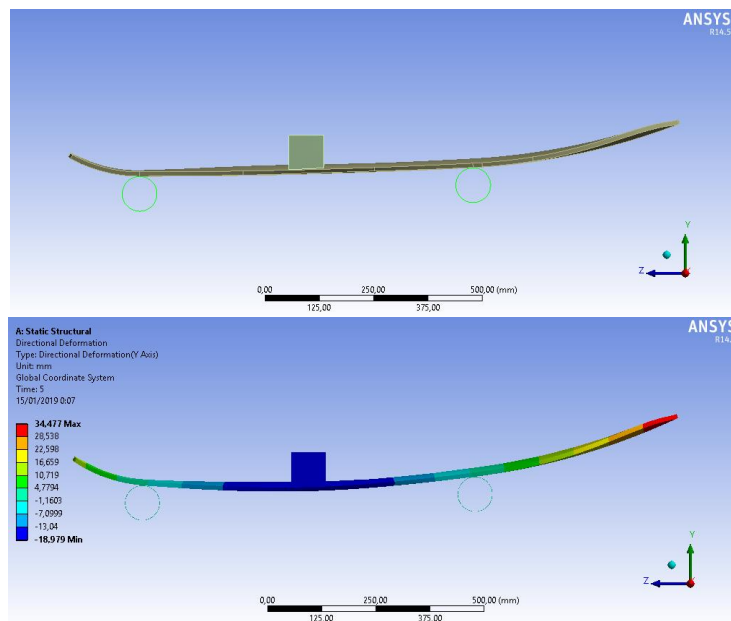


Figura 60. Vistes de perfil a l'inici i al final de la deformació, amb la llegenda a l'esquerra (valors en mm).

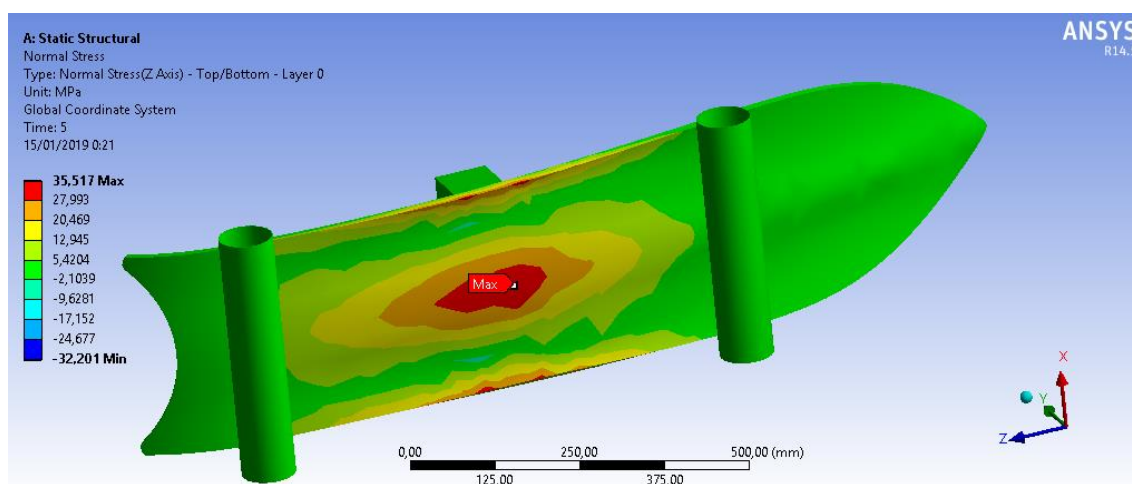


Figura 61. Visualització de la tensió normal, amb la llegenda a l'esquerra (valors en MPa).

En la imatge anterior es pot observar la distribució de la tensió normal (en direcció Z) que pateix la taula. Es pot localitzar el seu valor màxim en el centre del cos, i el valor de tensió normal màxima obtingut per a la càrrega descrita anteriorment és de **$\sigma = 35,517 \text{ MPa}$** .

A continuació es pot veure el recull de resultats de la simulació:

	SIMULACIÓ (mètode elements finits)
Per a $F = 1500 \text{ N}$	PROTOTIP
Càrrega (F)	1500 N
Fletxa (d)	18,979 mm
Tensió normal (σ_x)	35,517 MPa

Taula 15. Resultats de l'assaig virtual amb ANSYS.

5.3. Assaig del prototip

Com s'ha explicat amb anterioritat, la peça d'estudi per aquest assaig va ser fabricada amb el material excedent de la fabricació de la taula. Aquest excedent era de dimensions inferiors a les necessàries per a fabricar una altra taula, i és per això que amb ell es va fabricar una part idèntica al cos central del prototip original.

Per a l'assaig real del prototip es va fer servir el mateix sistema que en els altres assajos, descrit a l'apartat 5.1. *Primers assajos*. La preparació, per tant, va ser també la mateixa, però aquesta vegada es va haver de resoldre prèviament un lleuger contratemps.

Degut a la curvatura que presenta la superfície inferior del prototip resultava complicat proporcionar un bon contacte en els punts de recolzament, un contacte que no fos puntual sinó pla, al llarg de tota la amplada de la taula, i que garantís un recolzament estable.



Figura 62. El recolzament de la taula sobre els suports no era del tot estable degut a la curvatura de la superfície inferior.

Aquests espais deguts a la concavitat es van omplir mitjançant uns trossos de fibra de vidre (com els de la *Figura 61*) i l'escuma adhesiva *CEYS Total Tech MS*, que es va injectar i es va deixar solidificar.

Primer es van fer unes parets amb plastilina, per evitar que l'escuma s'escampés quan encara estava líquida. Després es va anar omplint poc a poc la concavitat usant trossos de fibra de vidre i escuma adhesiva, com es pot veure a la *Figura 63*.



Figura 63. Ompliment de la concavitat.

Tot això es va deixar reposar durant 12 hores, i a l'endemà es va poder procedir amb l'assaig.

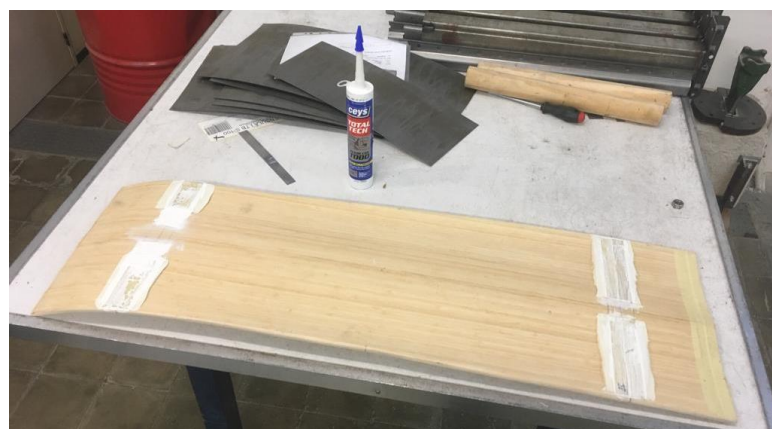


Figura 64. Taula preparada per a fer l'assaig, amb les concavitats plenes.

Les condicions establertes per aquest assaig van ser les següents:

- **Assaig amb dos punts de recolzament:** la llum definida en aquest cas va ser de $L = 770 \text{ mm}$, doncs es la longitud de la part central del cos de la taula, sobre la qual s'hi trobarà l'usuari en el moment d'usar-la.
- **Càrrega repartida:** s'emprarà una barra rectangular amb la fi de garantir que la càrrega aplicada no sigui puntual, i el punt d'aplicació d'aquesta serà equidistant dels dos punts de recolzament.
- **Assaig destructiu:** es carregarà la taula fins a la seva fallida.



Figura 65. Preparació de l'assaig.

Les dades extretes de l'assaig del prototip es reflecteixen en el gràfic mostrat a continuació:

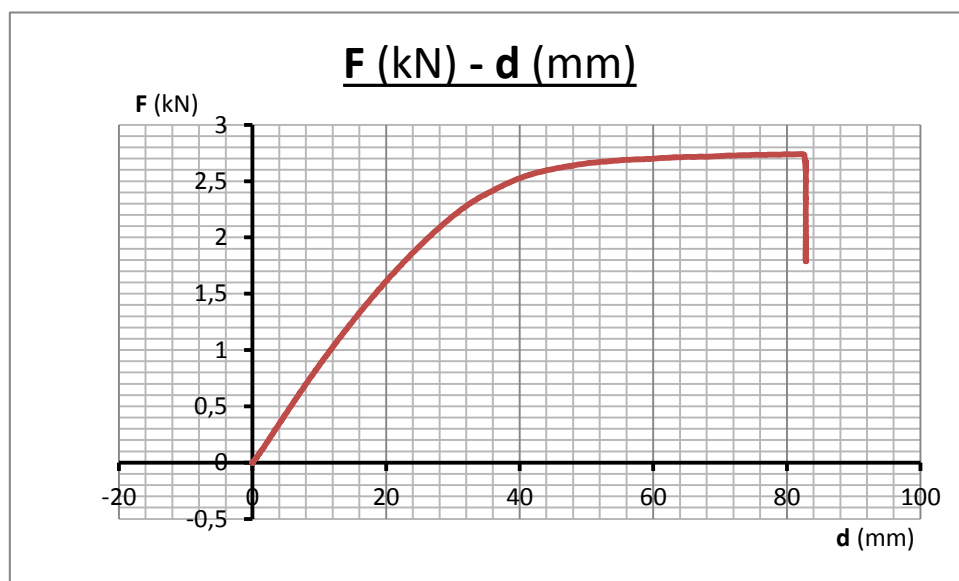


Figura 66. Gràfica Força (kN) – Desplaçament (mm) de l'assaig del prototip.

Es pot observar a la gràfica com inicialment la relació entre el desplaçament i la càrrega aplicada es manté gairebé constant, i com més endavant va minvant a mesura que la càrrega augmenta, fins arribar al seu punt de fallida. Les dades obtingudes situen aquest punt en un valor de **$F = 2,7412 \text{ kN}$** i de **$d = 82,38 \text{ mm}$** .

Pel que fa a l'anàlisi teòric d'aquest assaig, s'hi troba una petita diferència respecte al de la taula de *skateboard*: s'ha considerat la càrrega repartida en el centre de la biga, representant l'ús de la barra rectangular en l'assaig real. Així doncs, l'esquema resultant d'aquest anàlisi ha estat aquest:

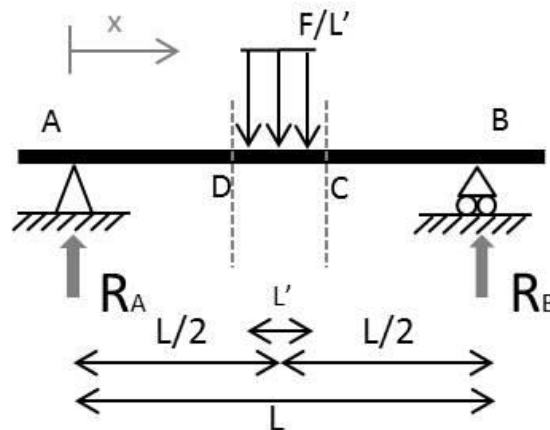


Figura 67. Representació esquemàtica d'una biga amb dos punts de recolzament sotmesa a una càrrega repartida en el seu centre ($L' = 8 \text{ cm}$).

En el cas representat a la figura anterior, el moment flector màxim es produeix en els punts D i C, a diferència del cas de la taula de *skateboard* (Figura 46), que es produïa al seu centre.

Emprant els càlculs necessaris, s'ha determinat el valor d'aquest moment flector. Per a unes càrregues de **$F = 1000 \text{ N}$** i de **$F = 1500 \text{ N}$** , el moment flector val **$M_z = 172500 \text{ N}\cdot\text{mm}$** i **$M_z = 258750 \text{ N}\cdot\text{mm}$** respectivament. Per a la càrrega màxima assolida (**$F = 2741,2 \text{ N}$**) el moment flector val **$M_{z,max} = 472857 \text{ N}\cdot\text{mm}$** .

També s'ha emprat el *SolidWorks* per a determinar les característiques pròpies de la secció de la taula, com el seu centre de gravetat i el moment d'inèrcia.

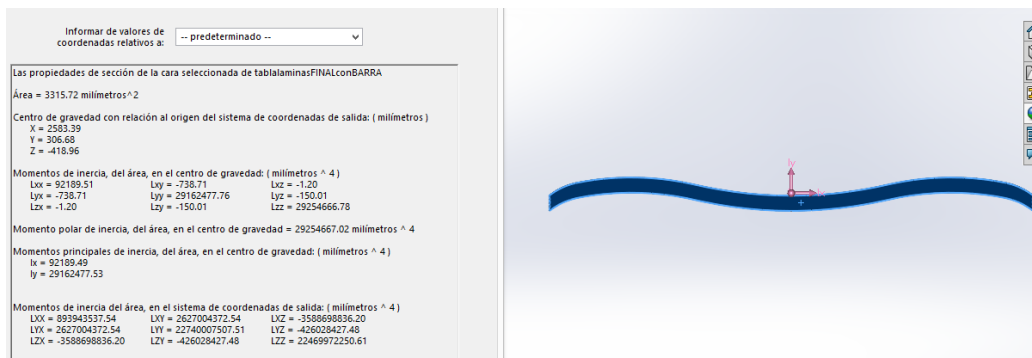


Figura 68. Característiques pròpies de la secció del prototip, obtingudes mitjançant *SolidWorks*.

Un cop coneguts els valors de la inèrcia $I_z = 92189,49 \text{ mm}^4$ i de la posició vertical del punt pertanyent a la superfície inferior de la taula respecte el seu centre de gravetat $y = 12,626 \text{ mm}$, s'ha pogut aplicar l'equació 2 per a determinar el valor de la tensió normal màxima.

La tensió normal màxima assolida en el punt de càrrega màxima previ a la fallida és:

$$\sigma_{x,max} = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y = 64,76 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eq. 2})$$

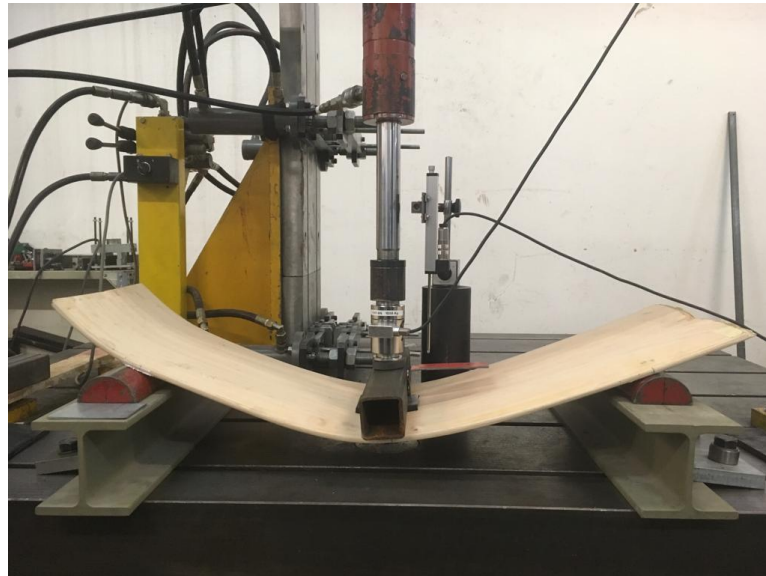


Figura 69. Flexió de la taula en el moment de fallida.



Figura 70. La ruptura del prototip es va produir en el centre de la taula, zona de tensió màxima prevista amb la simulació.

La tensió normal assolida per a una càrrega de **$F = 1000 \text{ N}$** és:

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y = 23,63 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eq. 2})$$

En aquest estat de càrrega es pot observar el valor de la fletxa corresponent a les dades obtingudes de l'assaig. Així doncs, per a **$F = 1000,04 \text{ N}$** s'ha obtingut una fletxa de **$d = 11,70 \text{ mm}$** .

La tensió normal assolida per a una càrrega de **$F = 1500 \text{ N}$** és:

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y = 35,44 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eq. 2})$$

En aquest últim estat de càrrega es pot observar el valor de la fletxa corresponent a les dades obtingudes. Així doncs, per a **$F = 1502,28 \text{ N}$** s'ha obtingut una fletxa de **$d = 18,43 \text{ mm}$** .

Mitjançant l'equació de la fletxa, i prenent diferents punts F - d per a calcular el valor mitjà, s'ha pogut deduir el mòdul de Young del prototip, dada que a posteriori va ser utilitzada per a corregir la simulació (**$L = 770 \text{ mm}$**).

$$d = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (\text{eq. 3}) \quad \rightarrow \quad E = 8744,57 \text{ N/mm}^2$$

Els resultats de l'assaig del prototip es mostren a la *Taula 16*

	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)
Per a $F = 1000 \text{ N}$	PROTOTIP
Fletxa (d)	11,70 mm
Tensió normal (σ_x)	23,63 MPa
Per a $F = 1500 \text{ N}$	PROTOTIP
Fletxa (d)	18,34 mm
Tensió normal (σ_x)	35,44 MPa
Per a F de fallida	PROTOTIP
Càrrega (F)	2741,2 N
Fletxa (d)	82,38 mm
Tensió normal ($\sigma_{x,max}$)	64,76 MPa
Mòdul de Young (E)	8744,57 MPa

Taula 16. Resultats de l'assaig del prototip.

5.4. Comparativa dels resultats

Al llarg del procediment dels diferents assajos ha quedat ben clara la dificultat que suposa treballar amb fusta, degut a la variabilitat de les seves propietats mecàniques, les quals es poden veure afectades per un munt de factors diferents durant el procés natural del qual resulta la fusta.

- **Comparativa: taula de *skateboard* – prototip**

	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)
Per a F de fallida	SKATEBOARD	PROTOTIP
Càrrega (F)	3702,87 N	2741,2 N
Fletxa (d)	21,77 mm	82,38 mm
Tensió normal ($\sigma_{x,max}$)	115,34 MPa	64,76 MPa
Mòdul de Young (E)	12085,18 MPa	8744,57 MPa

Taula 17. Taula comparativa dels resultats dels assajos de la taula de 'skateboard' i del prototip.

El propòsit d'aquesta comparativa és avaluar la qualitat del procés de fabricació pel que fa al prototip, mitjançant les dades obtingudes d'un producte fabricat industrialment.

Dit això, es pot observar clarament als resultats obtinguts que la taula de *skateboard* ha resultat ser considerablement més rígida que la taula de *powdersurf*. Aquest fet es veu reflectit en els valors dels mòduls de Young i en les fletxes obtingudes per a la càrrega de fallida.

Tot i que no era l'objectiu obtenir uns valors de les propietats del prototip de les mateixes magnituds que les de la taula de *skateboard*, es fa estrany veure com dos productes fabricats amb la mateixa tècnica i fustes molt semblants, a priori, tenen uns valors de tensió normal màxima tant diferents. Observant el tipus de ruptura que presenta el prototip (visible a la *Figura 70*) es pot afirmar que no ha estat a causa d'una feblesa derivada del procés constructiu, doncs no hi ha corriments ni separació de les diferents làmines de fusta. Aquest fet es deu, per tant, a les propietats característiques de cada fusta.

Per acabar, havent comprovat que el procés de fabricació no ha estat la causa de la fallida del prototip, es pot veure també que ha assolit un valor de càrrega màxima admissible força elevat. Tenint en compte que el *skateboard* és un esport que es practica en un entorn més agressiu i dur que el *powdersurf*, es creu que aquest valor de càrrega admissible serà suficient per a un correcte funcionament, a l'espera de la prova empírica del producte.

- **Comparativa: taula de *snowboard* – prototip**

	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (no destructiu)	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)
Per a $F = 1000 \text{ N}$	SNOWBOARD	PROTOTIP
Fletxa (δ)	74,27 mm	11,70 mm
Tensió normal (σ_x)	71,06 MPa	23,63 MPa
Mòdul de Young (E)	14592,35 MPa	8744,57 MPa

Taula 18. Taula comparativa dels resultats dels assajos de la taula de 'snowboard' i del prototip.

L'objectiu d'aquesta comparativa és comparar les característiques de dos productes amb funcionalitats molt semblants. Per una banda, el prototip, fet únicament de fusta de manera artesanal. Per l'altra banda, una taula de *snowboard*, feta amb diferents materials com per exemple fusta i fibres de vidre i fabricat de manera industrial.

Comparant la deformació unitària dels dos productes (quocient de la tensió normal entre el mòdul de Young) es pot veure que la taula de *snowboard* és més elàstica que el prototip. Aquest fet ocasiona que per a una mateixa càrrega el valor obtingut de la fletxa sigui superior en el cas de la taula de *snowboard*, suportant una tensió normal també major. Aquest comportament és, precisament, el que es busca al emprar els materials usats en la seva fabricació, mencionats anteriorment. Antigament els esquís i les taules de *snowboard* eren també de fusta, i a mesura que els esports han evolucionat també ho han fet les tècniques de fabricació, proporcionant als productes millors prestacions mecàniques.

- **Comparativa: simulació – assaig del prototip**

	SIMULACIÓ (mètode elements finits)	ASSAIG REAL A FLEXIÓ (destructiu)
Per a $F = 1500 \text{ N}$	PROTOTIP	PROTOTIP
Fletxa (δ)	18,979 mm	18,34 mm
Tensió normal (σ_x)	35,517 MPa	35,44 MPa

Taula 19. Taula comparativa dels resultats de la simulació i de l'assaig del prototip.

La finalitat d'aquesta comparativa és, més enllà d'obtenir els resultats de cada tipus d'assaig, poder establir un mètode de simulació que proporcioni uns resultats fidels a la realitat, usant els resultats obtinguts de l'assaig a flexió per ajustar els paràmetres introduïts en el programa informàtic.

Es pot veure que els resultats obtinguts després d'haver realitzat els ajusts pertinents són molt propers. La petita diferència que presenten es pot deure a les simplificacions aplicades a la simulació, però tot i així es pot garantir que es podria usar l'assaig virtual d'ara endavant per tal d'assajar nous materials per a la taula sense necessitat de fabricar més prototips.

6. Pressupost

En aquest apartat es pretén presentar tots els costs generats pel projecte, així com la distribució de les hores de treball en les diferents tasques.

A part del cost material del projecte, derivat de la fabricació del prototip, es considerarà també el cost que podria derivar del sou d'un enginyer en funció de les hores de treball i del tipus de treball i el cost que haurien suposat les llicències dels *softwares* usats en aquest projecte.

Per començar, si es considera que aquest projecte té un pes de 12 crèdits ECTS, es pot estimar un temps total de projecte de 300 hores, les quals s'han repartir de la següent manera:

	Dedicació	Hores	Preu (€/hora)	Preu (€)
Recerca i documentació	20%	60	35	2100
Disseny CAD Simulació FEM	25%	75	35	2625
	25%	75	100	7500
Fabricació del motlle i prototip	20%	60	35	2100
Assajos al laboratori	10%	30	100	3000
TOTAL	100%	300	-	17325

Taula 20. Taula on es mostren les hores invertides i el seu cost associat.

Les llicències de *SolidWorks* i *ANSYS* estan valorades en 10000€ i 15000€ respectivament

Pel que fa al cost material del projecte, aquest es mostra desglossat a continuació:

COSTS			
Materials	465,05 €	Serveis	181,50 €
Fusta motlle	112,85 €	Fresat CNC	181,50 €
Làmines de fusta	271 €	Afegits	76,41 €
Cola	57 €	<i>Surf Leash</i> (x2)	27,98 €
Vernís	24,20 €	Anelles d'acer (x2)	6,16 €
Eines	274,43 €	Neoprè (137x31 cm)	19,32 €
Sistema de premsa	220,90 €	Paper vidre <i>skate</i>	22,95 €
Serra caladora	28,99 €	Extres	40,64 €
<i>Cutter</i>	9,95 €	<i>Parking</i>	10,64 €
Cinta adhesiva	4,99 €	Carburant i peatges	30 €
Paper de vidre	9,60 €	TOTAL	1.038,03 €

Taula 21. Costs de fabricació del prototip (els costs marcats en blau són el total de cada secció).

El cost material total del projecte ha estat, doncs, de 1038,03 €. S'ha de tenir en compte, però, que amb aquesta inversió s'ha adquirit un sistema de premsa al qual encara li queda una llarga vida útil, i per tant podrà ser més amortitzat. A més a més aquest cost s'ha vist plenament condicionat per la dificultat de trobar els materials com les fustes, de les mides desitjades i en lots no comercials, com per exemple el fet d'haver tingut que comprar làmines de fusta de 250 cm de llarg quan amb 145 cm ja n'hauria hagut prou.

Tot i així, l'excés de material excedent es va emprar per a fabricar la peça amb la que posteriorment es va realitzar l'assaig a flexió del prototip. Això vol dir que les làmines de fusta que es van adquirir inicialment amb la intenció de fabricar una segona taula per a testejar-la han pogut ser emprades per a fabricar una segona taula, un segon prototip, plenament funcional i al qual se li podrà donar ús, tal i com al primer.

Així doncs, es podria afirmar que amb aquesta inversió inicial de 1038,03 € s'ha obtingut el doble de productes del que s'esperava, fet que redueix l'impacte econòmic a la xifra de 519,02 € per a cada taula fabricada.

Tenint en compte únicament el cost material per a cada taula, tenint en compte la fusta, la cola i el vernís, aquest suposa un valor de 119,19 € (obviant la despesa en altres components com el motlle, les eines i el sistema de premsat, els quals es considera que encara seran utilitzats).

En l'estudi de mercat realitzat a la fase inicial del projecte, s'ha vist que el preu de productes de les mateixes característiques que el prototip oscil·la entre els 300 i 400 €.

Considerant que el sistema de fabricació i totes les eines usades tenen una vida útil que les permet fabricar 100 unitats del producte, i posant un preu de venda de 320 €, s'obtingria un marge de benefici de 200,81 € per unitat. Això vol dir que la inversió inicial de 1038,03 € es recuperaria amb la venda de sis unitats, deixant el marge obtingut per les 94 unitats restants produïdes (18876,14 €) per a fer front a altres possibles despeses del negoci, com per exemple un sou d'un empleat o mà d'obra, lloguer d'un local i despeses energètiques, impostos, etcètera.

El que és difícil de preveure, però, és en quin espai temporal succeirien les ventes i, per tant, la recuperació de la inversió i l'obtenció dels beneficis, ja que el *powdersurf* és encara un esport poc popular, que caldria promocionar, i és un esport d'hivern, cosa que vol dir que només es pot practicar durant 4 mesos a l'any aproximadament.

7. Impacte ambiental

Pel que fa a l'impacte ambiental del projecte, únicament es considerarà aquell produït durant el procés de fabricació del prototip.

Per a la fabricació de la taula no es considera haver realitzat un consum energètic fora de l'habitual, prenent com a habitual aquell realitzat amb normalitat en un habitatge. El sistema de premsat, com ja s'ha explicat, treballa amb la pressió mitjançant una bomba d'accionament manual. La llum durant les hores de treball i els pocs aparells elèctrics emprats, com la serra caladora, no representen un consum prou gran com per a tenir-lo que mencionar.

Respecte als materials usats, la immensa majoria ha estat fusta. Tot i que el treball amb fusta pot causar una quantitat considerablement de residus en forma de pols, serradures i material restant, s'ha realitzat en un espai prou obert i ventilat per a garantir un còmode treball.

Els únics productes químics que s'han usat en el projecte han estat la cola i el vernís. La cola, especial per a fusta, és de base aigua i no representa un perill potencial per a la salut. Els vapors del vernís, en canvi, poden tenir efectes negatius en cas de ser inhalats durant una estona prolongada, i es per això que s'ha usat mascareta en el moment d'aplicar-lo. També s'ha fet ús de guants per evitar el contacte amb la pell.

La majoria dels residus generats durant el projecte han estat reciclats. Per una banda, residus orgànics en forma de fusta, paper i cartró, i per l'altra banda plàstics i envasos.

Totes les eines adquirides, inclòs el sistema de premsa, no són d'un únic ús i per tant encara els queda vida útil.

En conclusió, es considera que l'impacte ambiental d'aquest projecte ha estat relativament baix. Podria dir-se que és un avantatge característic d'un procés de fabricació artesà, en el que es pot tenir cura de l'ús que es fa dels diferents productes i dels residus generats.

8. Planificació

A continuació es mostra el diagrama de Gantt emprat al llarg del projecte per a planificar temporalment les diferents tasques. En vermell es mostren aquelles duracions que han hagut de ser esteses o modificades, i apareixen amb una X els períodes (setmanes) en els que finalment no es va realitzar la tasca pertinent.

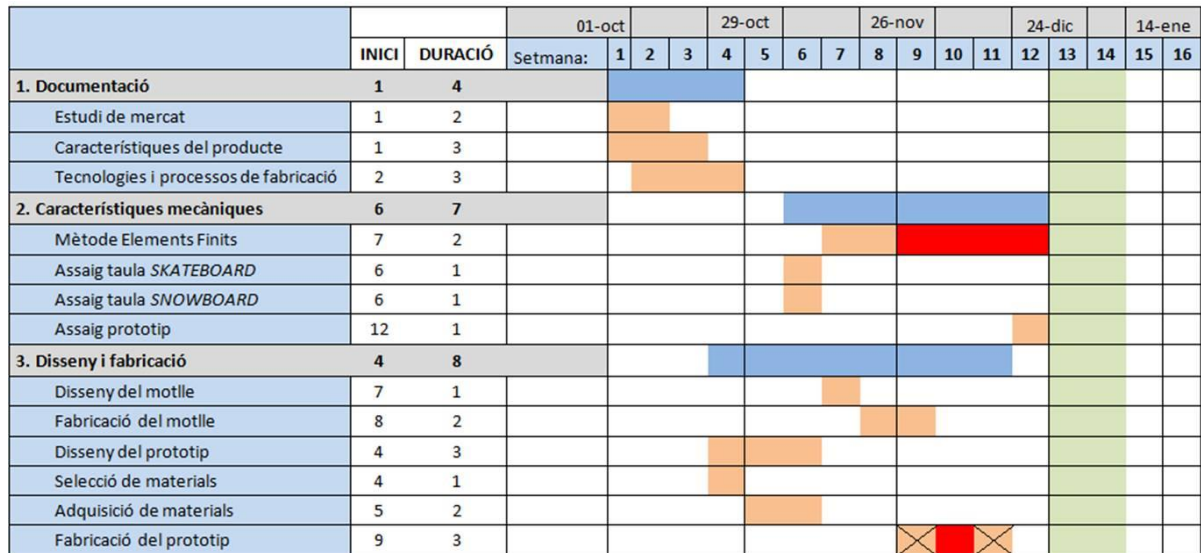


Figura 71. Diagrama de Gantt de la planificació del projecte.

La franja verda corresponent a les setmanes 13 i 14 representa el Nadal, data límit establerta a l'inici del projecte.

9. Conclusions

En l'últim apartat d'aquest projecte s'han recuperat les hipòtesis i especificacions inicials i s'han comparat amb els resultats obtinguts, extraient-ne així les conclusions.

Per començar, aquest projecte ha brindat l'oportunitat d'investigar, conèixer i aprendre sobre un esport molt poc conegut avui en dia. Aquest esport ha guanyat considerable popularitat en el món de la neu en l'últim parell d'anys, i no seria d'estranyar que aquesta tendència seguís en augment.

S'ha tingut l'oportunitat d'aplicar coneixement obtinguts durant el grau d'enginyeria en una situació real i d'interès personal. Aquests coneixements inclouen diferents assignatures com per exemple Tecnologia i Selecció de Materials, Sistemes de Fabricació, Resistència de Materials i Expressió Gràfica (CAD).

Amb els resultats obtinguts i comparats dels diferents assajos s'ha pogut comprovar la importància de cada tipus d'assaig i com es poden complementar una simulació i un assaig real. Pel que fa als resultats numèrics, s'han obtingut uns valors molt semblants per als dos assajos del prototip, tant pel mètode dels elements finits com per una flexió real. Comparant aquests resultats amb els obtinguts en l'assaig de la taula de *skateboard* de fabricació industrial, es pot tractar amb optimisme l'objectiu principal de fabricar un producte que fos plenament funcional.

El motiu pel qual a l'inici del projecte es va posar una data límit per a la fabricació del prototip prèvia a les vacances de Nadal, era la possibilitat de testejar el prototip en una situació real i poder, d'aquesta manera, fonamentar encara més les conclusions del projecte. Malauradament, degut a les condicions climàtiques presents en aquest hivern i l'escassetat de neu, sembla que això haurà d'esperar. Tot i així s'espera poder provar el producte abans de la defensa del projecte.

La fabricació del prototip de manera artesana suposava, més enllà d'una part crucial del projecte, un repte personal. Sense tenir cap tipus de coneixement previ sobre tècniques de fabricació o manipulació com per exemple la fusteria, s'ha assolit un grau de satisfacció elevat degut a la qualitat del prototip obtingut. El fet d'haver creat un producte del no res, partint d'una idea conceptual, emprant eines d'alt nivell en el sector de l'enginyeria com són el *SolidWorks* i l'*ANSYS Workbench* incrementa aquesta satisfacció personal.

Es pot concloure doncs, que s'han assolit els objectius plantejats per al projecte, com a mínim els objectius analítics, a l'espera de poder provar el prototip en un entorn i en condicions reals.

S'agraeix la col·laboració de tot aquell que hagi proporcionat un cop de mà o consell, persones com el Sergi Galanó (*Flama Surf*), l'Àlex Papalini (*CCCB*), el Jordi Giménez (*HP*), el Matías Ferrero (*Atta33*), el Francesc Joaquim i el Jordi del laboratori, els fusters que van tenir la voluntat d'ajudar-me a trobar el material que buscava i, per suposat, l'Emilio Angulo, tutor d'aquest projecte.



Figura 72. A l'esquerra: la taula resultant d'aquest projecte. A la dreta: la taula resultant del segon joc de làmines, que finalment no es van usar per a fer els assajos. S'han usat geometries diferents amb la intenció de comprovar empíricament fins a quin punt confereixen un diferent comportament a la taula.

Bibliografia

- **Estudi de mercat**

<https://www.powsurf.com/>

<https://footprintpow.com/>

<http://aesmo.d-item.com/index.php?id=55>

<https://ilahubboards.com/>

<https://www.sharksnowsrf.com/>

- **Propietats de la fusta**

<http://www.matweb.com/>

- **Construcció**

<https://www.whiteadventure.com/build-a-powder-surfer/>

<http://diypowsurf.blogspot.com/>

- **Fresat CNC**

<http://www.fablabscugat.com/maquinas/fresadoras-cnc>

<http://exarchitects.com/category/corte-y-fresado-3d/>

<https://tecnoshine.com/es/serveis-produccio.php>

- **Projecte: premsa i motlle *skateboard***

<https://dc.etsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2590&context=etd>

- **Elements finits**

<https://www.irjet.net/archives/V4/i7/IRJET-V4I7544.pdf>

<https://seelio.com/w/2hxxh/static-analysis-of-skateboard-deck>

<https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/98251/eth-28070-02.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- **ANSYS**

<https://www.youtube.com/watch?v=1wVVnG-4GRA>

- **Materials**

<https://www.mwmaterialsworld.com/es/materiales/madera-corcho/madera-de-abedul.html>

<https://www.agullomaderas.com/b2c/producto/25902/1/chapa-de-abedul-de-1-5-mm-de-espesor>

<http://www.junksupply.com/shop/>

- **Accessoris**

<http://www.pogo.biz/en/powder-surfen-leash.html>

https://www.roarokit.eu/shop/en/13-thin-air-press-kits?id_category=13&n=11

https://www.konvoisnowboards.com/blog/powsurf_pad_leash/

<https://www.mundo-surf.com/es/grip-de-surf/408-grip-de-surf-recortable-creatures-9339740016578.html>